



UFPR



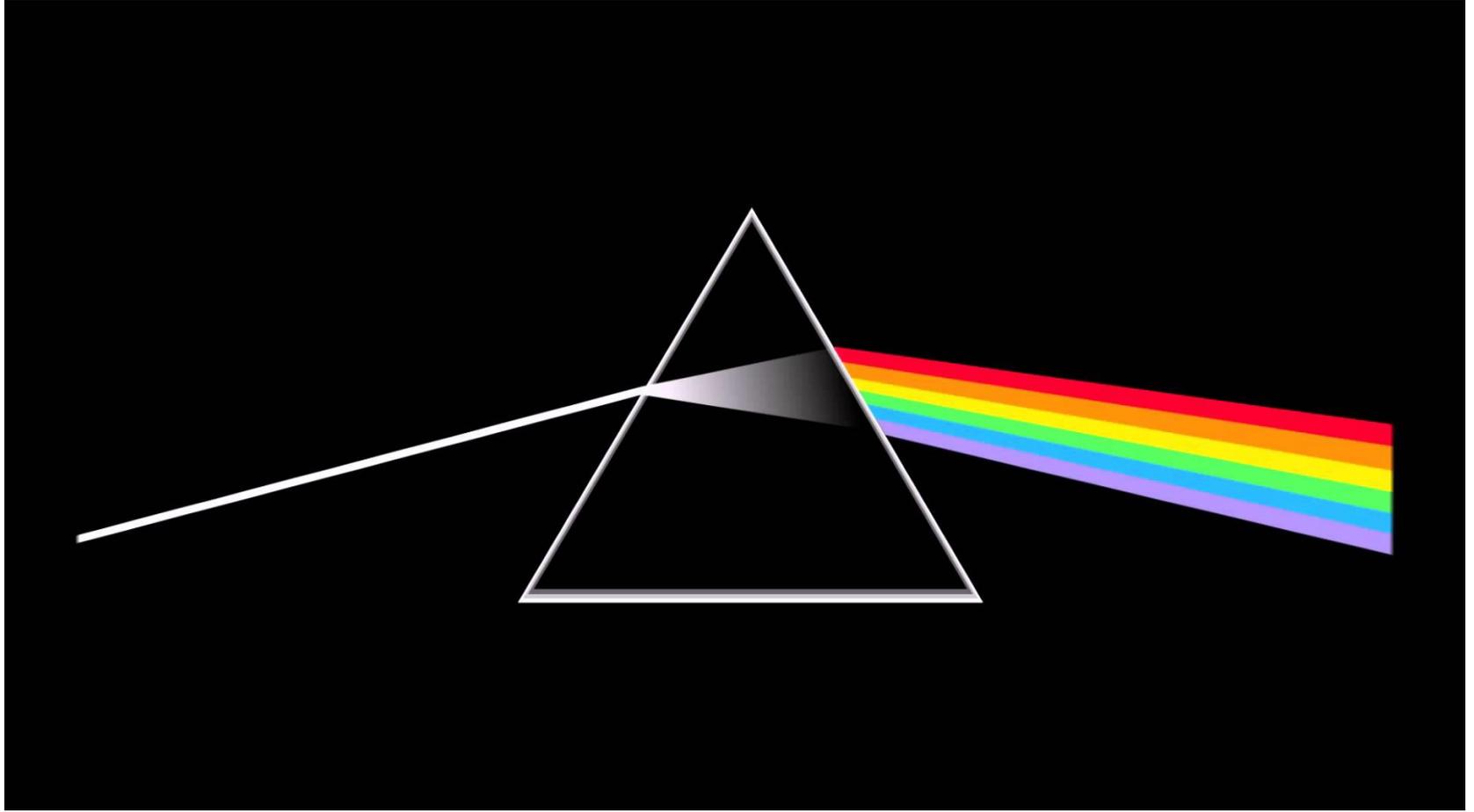
TE243

Eletricidade Aplicada II

Capítulo 3 –
Luminotécnica

1. Conceitos Básicos de Luminotécnica

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



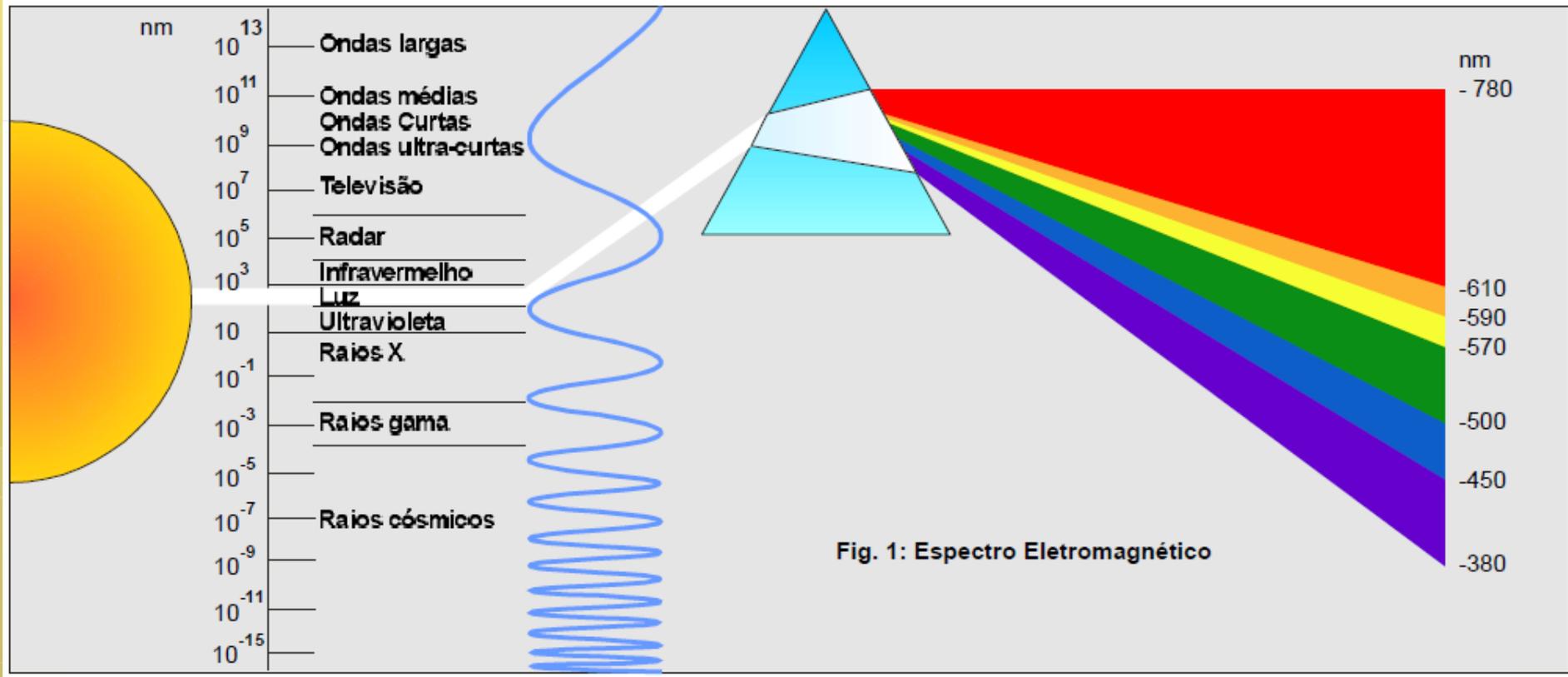
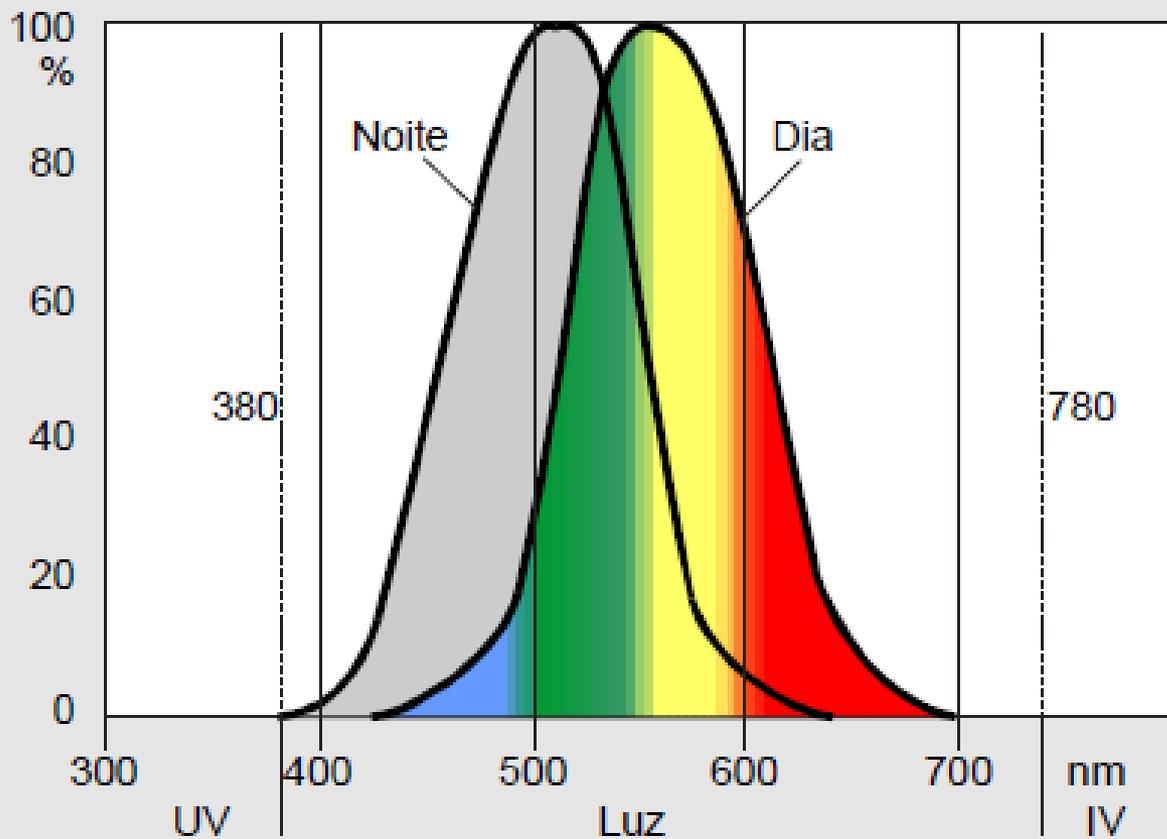


Fig. 1: Espectro Eletromagnético

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



2. Grandezas e Conceitos

- Luminotécnica é o estudo minucioso das técnicas das fontes de iluminação artificial, através da energia elétrica;
- Toda vez que se pensa em fazer um estudo das lâmpadas de um determinado ambiente, está se pensando em fazer um estudo luminotécnico.

Intensidade Luminosa

Símbolo: I

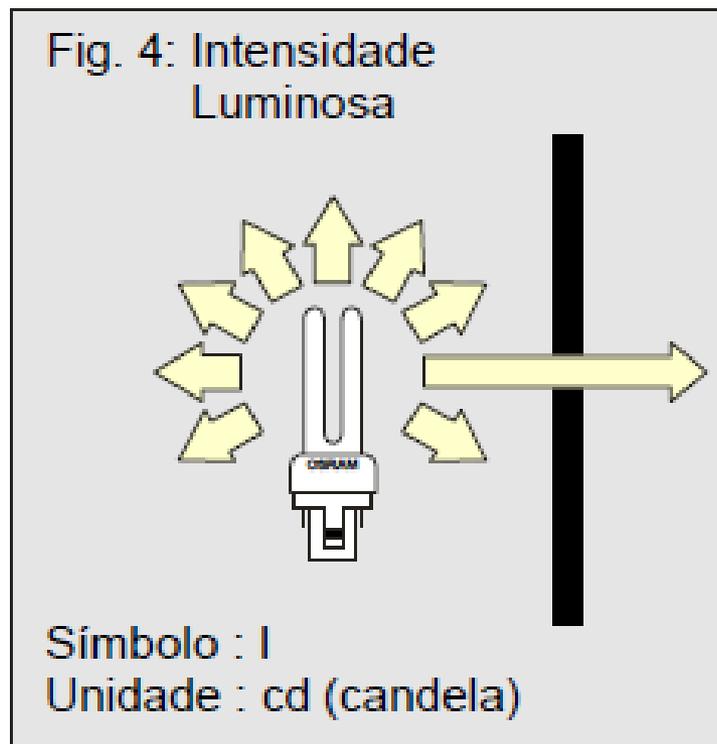
Unidade: candela (cd)

- Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direções, o fluxo luminoso se distribuiria na forma de uma esfera → impossível;
- Necessário medir o valor dos lumens emitidos em cada direção, os quais são vetores, cujo comprimento indica a Intensidade Luminosa;
- Potência da radiação luminosa em uma dada direção

Intensidade Luminosa

Símbolo: I

Unidade: candela (cd)



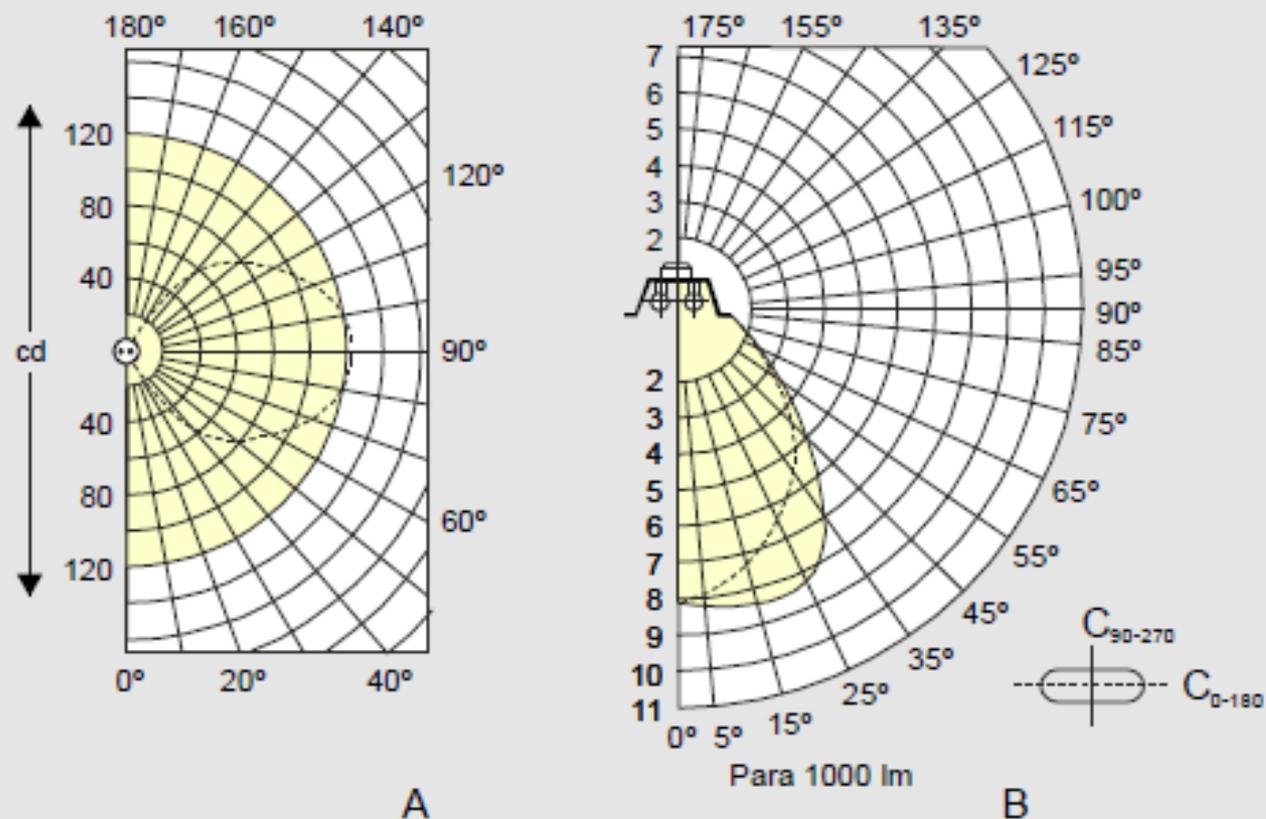
Curva de Distribuição Luminosa

Símbolo: CDL

Unidade: candela (cd)

- É a representação da Intensidade Luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano;
- Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente essas são referidas a 1000 lm;
- A curva CDL geralmente é encontrada nos catálogos dos fabricantes de lâmpadas e luminárias;
- Indicam se a fonte tem uma distribuição de luz concentrada, difusa, simétrica, etc.

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)



Fluxo Luminoso

Símbolo: φ

Unidade: lúmen (lm)



- Quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lúmens, na tensão nominal de funcionamento e capaz de produzir uma sensação de luminosidade através do estímulo da retina ocular;

- Um lúmen é a energia luminosa irradiada por uma candela sobre uma superfície esférica de 1m^2 .

$$\varphi = 4\pi R^2 = 12,57 \text{ lm}$$

- As lâmpadas conforme seu tipo e potência apresentam fluxos luminosos diversos:
 - lâmpada incandescente de 100 W: 1600 lm;
 - Lâmpadas LED: 90 a 2600 lm;
 - lâmpada fluorescente de 40 W: 1700 a 3250 lm;
 - lâmpada vapor de mercúrio 250W: 12.700 lm;
 - lâmpada multi-vapor metálico de 250W: 17.000 lm

Fluxo Luminoso	Incandescentes	Eletrônicas	LED
90lm	15W	---	1W
270lm	25W	6W	3W
360lm	30W	9W	4W
450lm	40W	13W	6W
800lm	60W	15W	9W
1100lm	75W	20W	15W
1600lm	100W	25W	18W
2600lm	150W	40W	25W

Iluminância (Iluminamento)

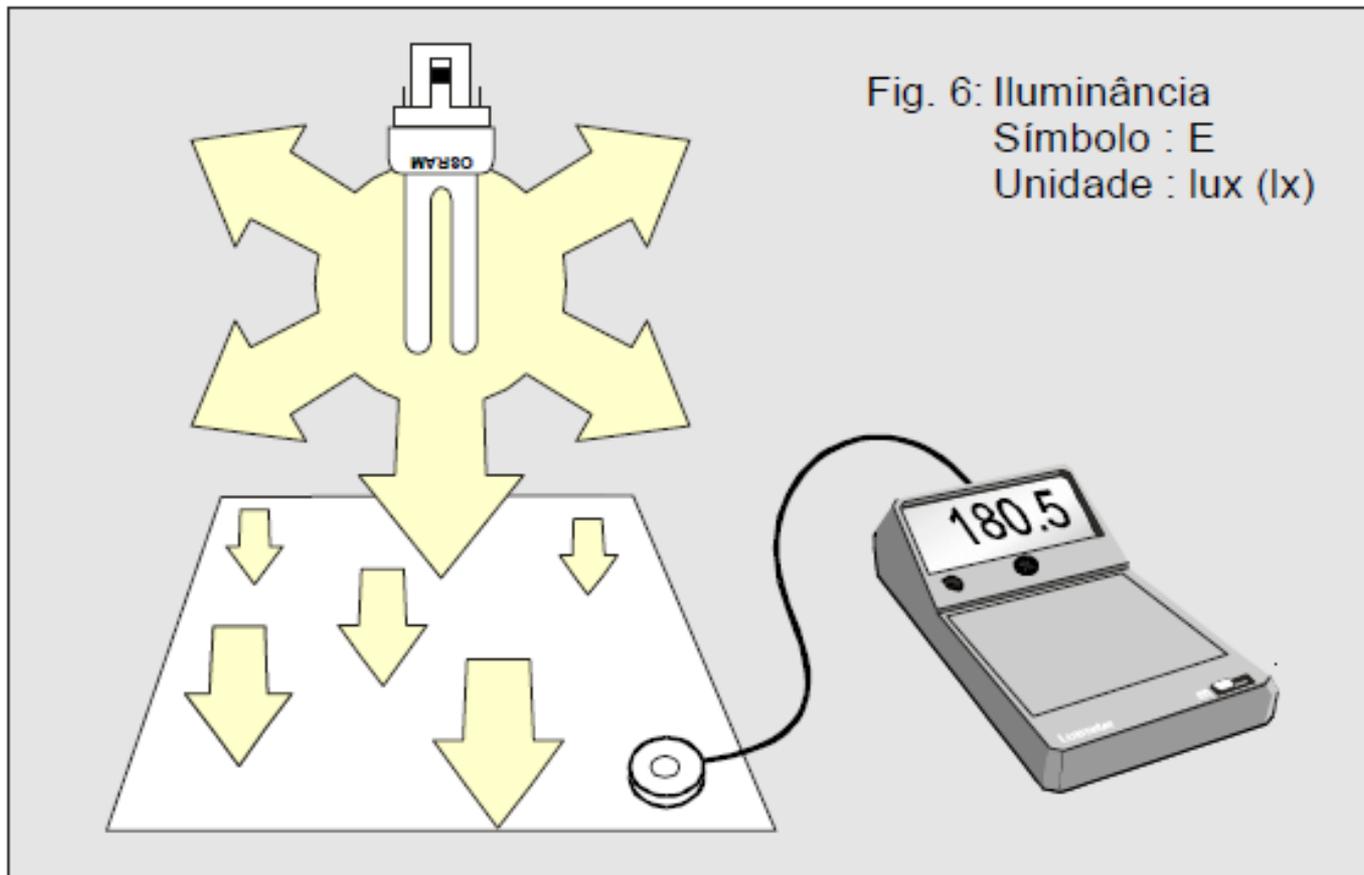
Símbolo: E

Unidade: lux (lx)

- 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 quantidade de luz dentro de um ambiente, e pode ser medida com o auxílio de um luxímetro:

$$\text{lux} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$$

- Para obter conforto visual, considerando a atividade que se realiza, são necessários certos níveis de iluminância médios.



- Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão;
- Valores práticos de iluminância:
 - Dia ensolarado de verão em local aberto = 100.000 lux
 - Dia encoberto de verão = 20.000 lux
 - Dia escuro de inverno = 3.000 lux
 - Boa iluminação de rua = 20 a 40 lux
 - Noite de lua cheia = 0,25 lux
 - Luz de estrelas = 0,01 lux.

Luminância

Símbolo: L

Unidade: cd/m^2

- É um dos conceitos mais abstratos que a luminotécnica apresenta. É através da luminância que o homem enxerga;
- A luminância depende tanto do nível de iluminação ou iluminância quanto das características de reflexão das superfícies.

- A equação que permite sua determinação é:

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

Onde:

- L = Luminância, em cd/m^2
- I = Intensidade Luminosa, em cd
- A = área projetada, em m^2
- α = ângulo considerado, em graus.

Fig. 7: Iluminância -
Luz incidente não é visível



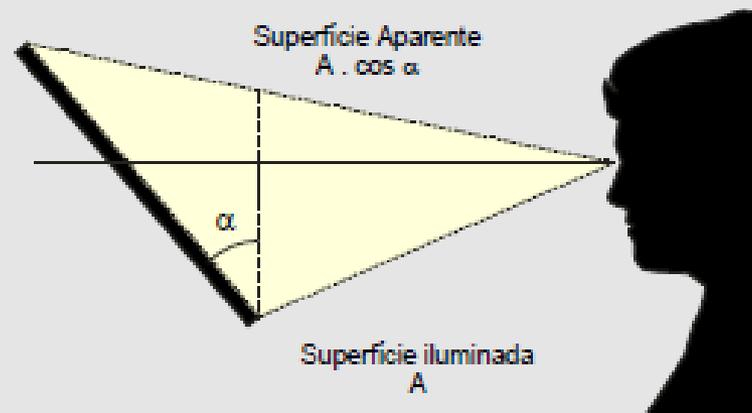
Luminância -
Luz refletida é visível



Luminância
Símbolo : L
Unidade : cd / m^2 (candelas / m^2)

Fig. 8:

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



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

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

Onde:

- ρ = Refletância ou Coeficiente de Reflexão;
- E = Iluminância sobre essa superfície.
- Esse coeficiente é geralmente dado em tabelas, cujos valores são função das cores e dos materiais utilizados.

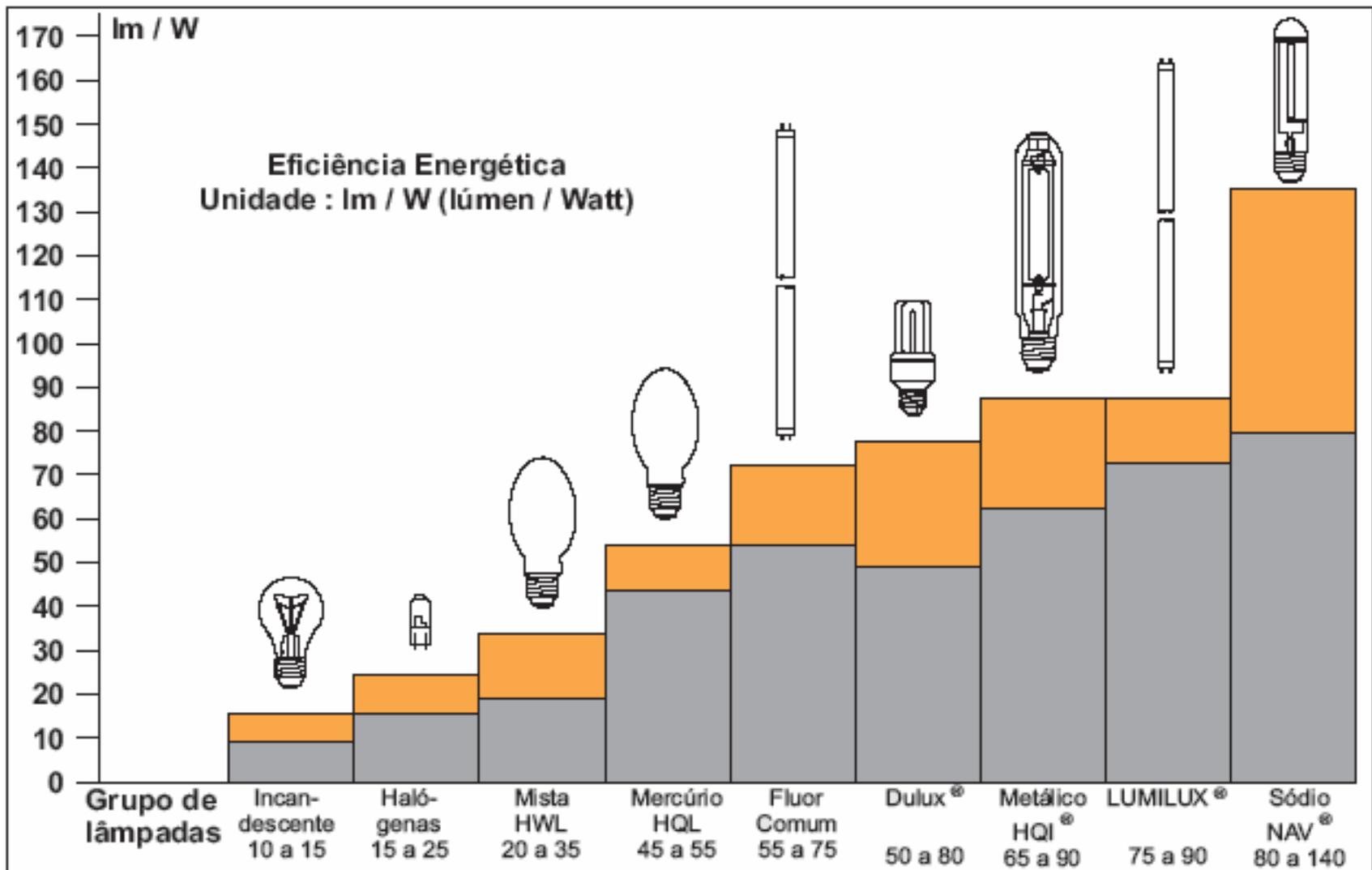
Anexo 2 - Coeficiente de Reflexão de Alguns Materiais e Cores

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

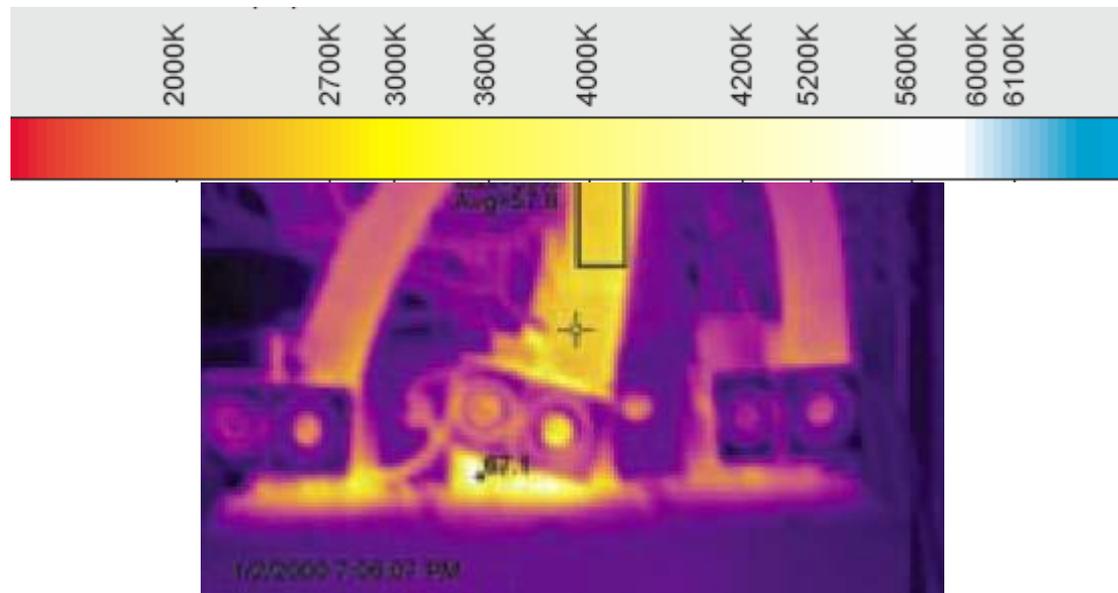
Cores	%
Branco	70..80
Creme claro	70..80
Amarelo claro	55..65
Rosa	45..50
Verde claro	45..50
Azul celeste	40..45
Cinza claro	40..45
Bege	25..35
Amarelo escuro	25..35
Marron claro	25..35
Verde oliva	25..35
Laranja	20..25
Vermelho	20..35
Cinza médio	20..35
Verde escuro	10..15
Azul escuro	10..15
Vermelho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

3. Características das lâmpadas e acessórios

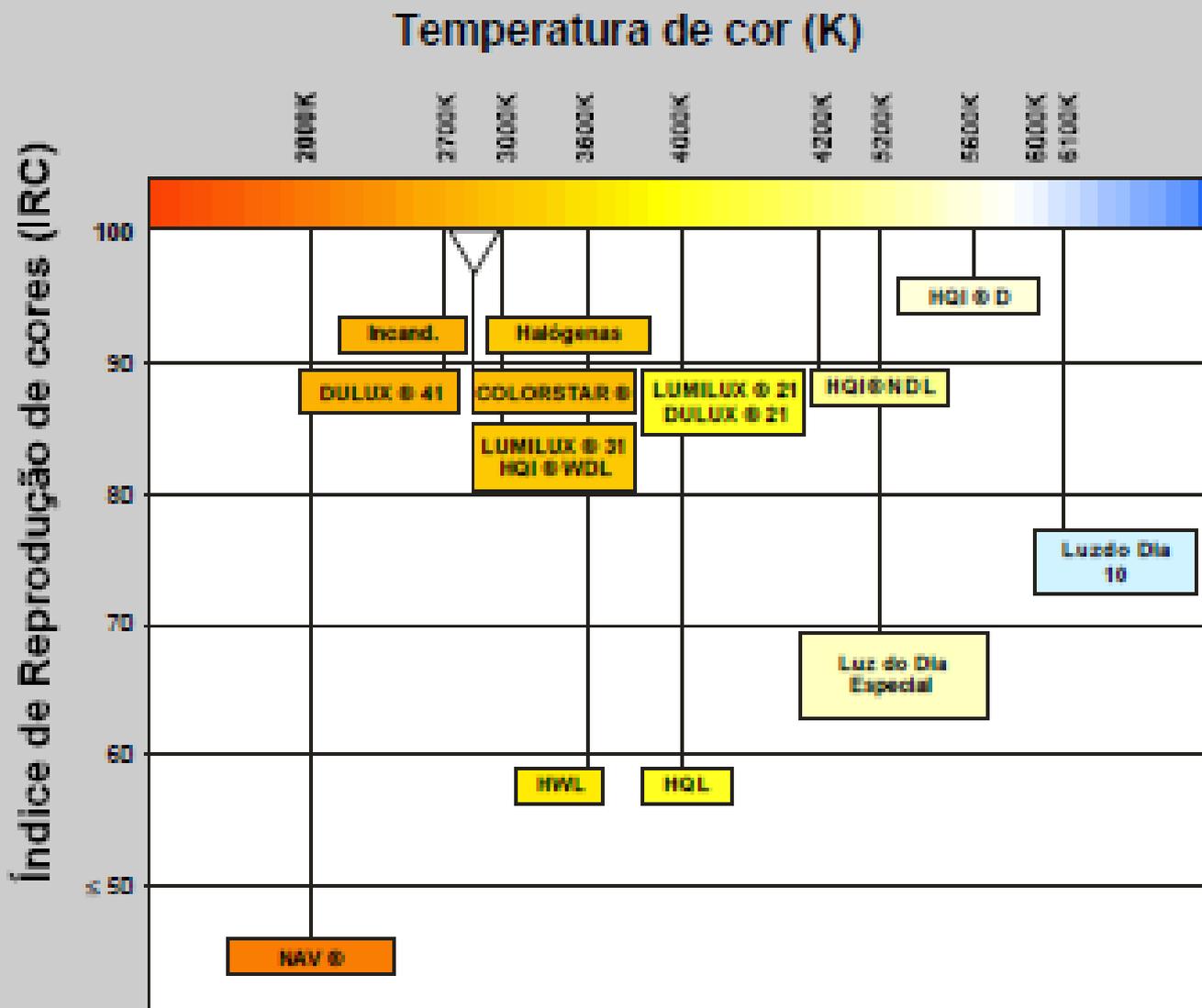
- Lâmpadas:
 - diferentes Fluxos Luminosos
 - diferentes potências de consumo.
- Para compará-las é necessário saber quantos lúmens são gerados por watt absorvido;
- Essa grandeza é a Eficiência Energética (antigo "Rendimento Luminoso").



- É bastante difícil a avaliação comparativa entre a sensação de Tonalidade de Cor de diversas lâmpadas;
- Temperatura de Cor (Kelvin) é o parâmetro definido para classificar a luz.

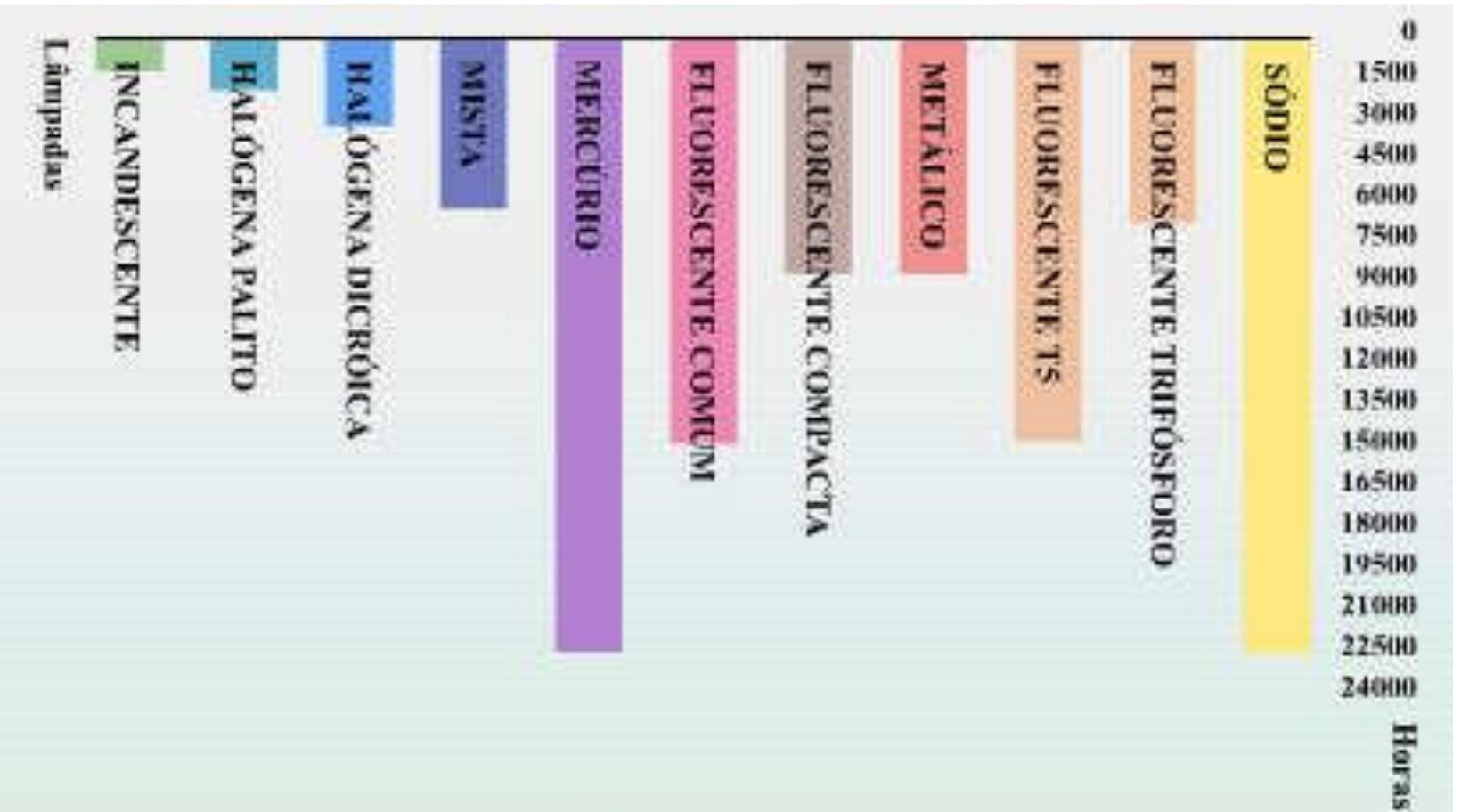


g. 9: Tonalidade de Cor e Reprodução de Cores



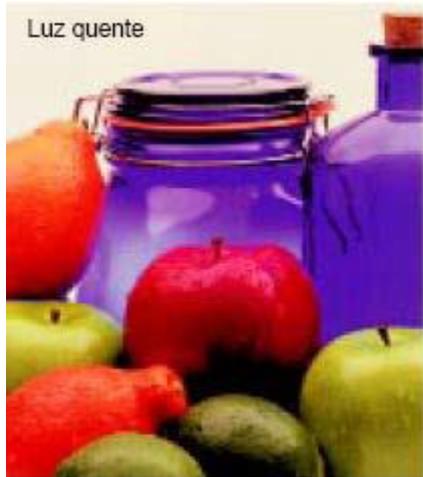
Vida Útil de uma Lâmpada

- É definida pela média aritmética do tempo de duração de cada lâmpada ensaiada e é dado em horas.
- Comparadas com as lâmpadas incandescentes, as lâmpadas de descarga têm vida média muito mais longa;



Índice de reprodução de cores (IRC)

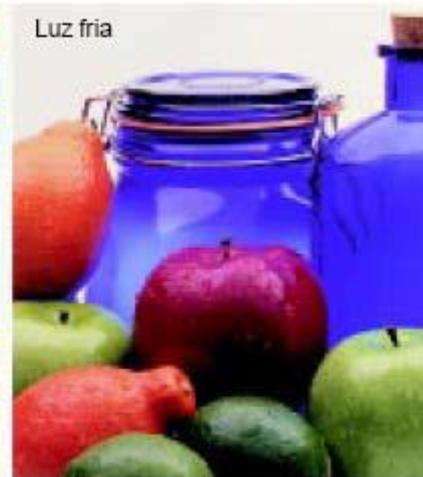
- Objetos iluminados podem nos parecer diferente, mesmo se as fontes de luz tiverem idêntica tonalidade;
- Quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão (sob a radiação do metal sólido) menor é seu IRC;
- Um IRC em torno de 60 pode ser considerado razoável, 80 é bom e 90 é excelente.



2700K



4000K



6000K



4. Métodos de Cálculo de Iluminação

- 4 métodos:
 - Carga mínima exigida por normas;
 - Método dos Lumens;
 - Método das cavidades zonais;
 - Método do ponto por ponto.

4.1 – Método dos Lumens

- Sete etapas:
 - Seleção da Iluminância;
 - Escolha da luminária;
 - Determinação do índice do local;
 - Determinação do coeficiente de utilização;
 - Determinação do fator de depreciação;
 - Fluxo total, número de luminárias e espaçamento.

4.1.1 - Seleção da Iluminância;

- Para determinação da iluminância conveniente é recomendável considerar os procedimentos a seguir (ABNT NBR 5413)
 - Da Tabela 1 constam os valores de iluminâncias por classe de tarefas visuais.
 - O uso adequado de iluminância específica é determinado por três fatores, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 1 - Iluminâncias por classe de tarefas visuais

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

● O procedimento é o seguinte:

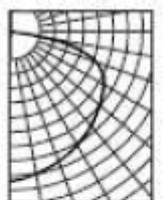
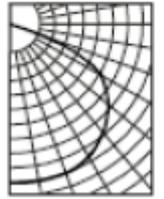
- a) analisar cada característica para determinar o seu peso (-1, 0 ou +1);
- b) somar os três valores encontrados, algebricamente, considerando o sinal;
- c) usar a iluminância inferior do grupo, quando o valor total for igual a -2 ou -3; a iluminância superior, quando a soma for +2 ou +3; e a iluminância média, nos outros casos.

Tabela 2 - Fatores determinantes da iluminância adequada

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

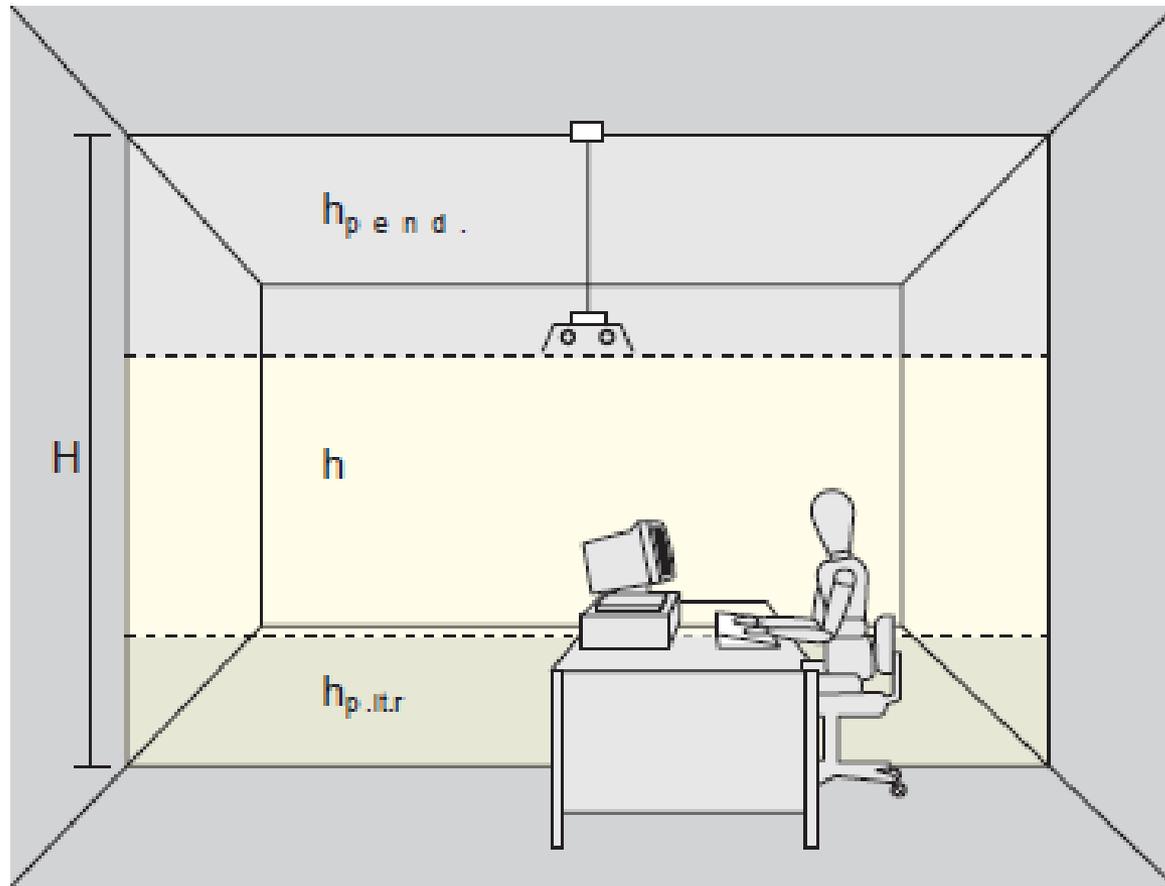
4.1.2 - Seleção da Luminária;

- Envolve diversos fatores tais como:
 - Objetivo da instalação;
 - Custo;
 - Razões de decoração;
 - Facilidade de manutenção;
 - Etc.
- Indispensável consulta a catálogos de fabricantes;

A2			Luminária refletora suspensa para lâmpada fluorescente - teto	Direta
A2.1			Refletor suspenso - teto	Direta

4.1.3 - Determinação do índice do local;

- Este índice relaciona as dimensões do recinto, comprimento, largura e altura de montagem;
- Isto é, altura da luminária em relação ao plano de trabalho;
- Pé-Direito Útil é o valor do pé-direito total do recinto (H), menos a altura do plano de trabalho ($h_{pl.tr.}$), menos a altura do pendente da luminária (h_{pend}). Isto é, é a distância real entre a luminária e o plano de trabalho.



- É dado por:

$$k = \frac{c \cdot l}{h_m(c + l)}$$

Onde;

c → Comprimento do local;

l → largura do local;

h_m → Pé-direito efetivo;

4.1.4 - Determinação do coeficiente de utilização;

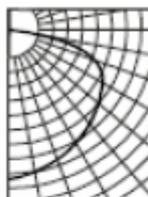
- É o fator que indica a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto;
- Relaciona o fluxo luminoso inicial emitido pela luminária (Fluxo total) e o fluxo recebido no plano de trabalho (Fluxo útil);
- Determinados catálogos indicam tabelas de Fator de Utilização para suas luminárias dependendo do índice do local e do fator de reflexão.

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

Luminária	Refletâncias												
	Teto	ρ_1	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	ρ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	ρ_3	0,3					0,1					
Índice do Recinto		K											
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



- Outros catálogos apresentam o coeficiente de utilização baseado em tabela com índices de refletância dos tetos paredes e pisos:

Indice	Reflexão	Significado
1	10%	Escuro
3	30%	Médio
5	50%	Claro
7	70%	branca

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

4.1.5 - Determinação do fator de depreciação;

- Relaciona fluxo emitido no fim do período de manutenção da luminária e o fluxo luminoso inicial da mesma;
- Quanto melhor a manutenção, mais alto será este fator, porém mais dispendioso;

Tipo de ambiente	Período de manutenção		
	2500	5000	7500
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

4.1.6 - Fluxo total, número de luminárias e espaçamento;

- Determina-se o fluxo luminoso total ϕ (em lúmen) que as luminárias deverão produzir, de acordo com a seguinte expressão;

$$\phi = \frac{S \cdot E}{F_u \cdot F_d}$$

Onde:

E - iluminamento médio (em lux) estabelecido no Passo 1;

S = C x L - área do local (m²).

- Número de luminárias:

$$n = \frac{\phi}{\varphi}$$

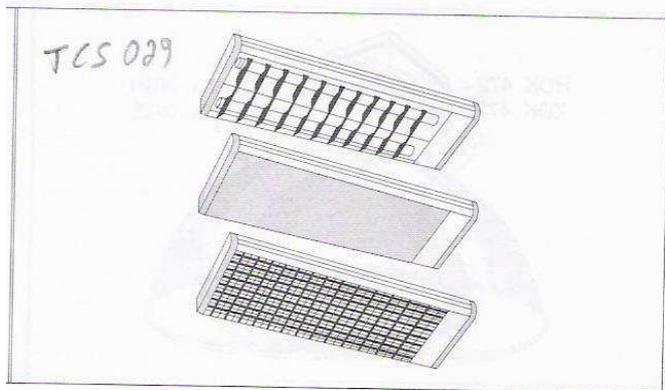
Onde:

ϕ – Fluxo luminoso total em lumens

φ – Fluxo por luminárias em lumens

Exercício 1:

Projetar o sistema de iluminação de um escritório com 18m de comprimento, 8m de largura e 3m de altura (pé direito), com mesas de 0,8 metros de altura. As luminárias serão Philips TCS 029, com duas lâmpadas fluorescentes de 32 W, TLDRS Super 80. O teto está pintado de verde claro, as paredes estão de azul claro e o chão está revestido com piso na cor marrom. O ambiente é considerado normal com período de manutenção de 5.000 horas.



TCS 029-D - 2 TLD 16W

ROOM INDEX K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,27	0,33	0,20	0,26	0,22	0,19	0,22	0,19	0,18
0,80	0,33	0,28	0,25	0,32	0,28	0,25	0,27	0,24	0,23
1,00	0,37	0,33	0,30	0,36	0,32	0,29	0,32	0,29	0,27
1,25	0,41	0,37	0,34	0,40	0,37	0,34	0,36	0,33	0,32
1,50	0,45	0,41	0,38	0,43	0,40	0,37	0,39	0,37	0,35
2,00	0,49	0,46	0,43	0,48	0,45	0,42	0,44	0,42	0,40
2,50	0,52	0,49	0,47	0,50	0,48	0,46	0,47	0,45	0,43
3,00	0,54	0,51	0,49	0,52	0,50	0,48	0,49	0,47	0,46
4,00	0,56	0,54	0,52	0,55	0,53	0,51	0,52	0,50	0,48
5,00	0,58	0,56	0,54	0,56	0,55	0,53	0,53	0,52	0,50



TLDRS Super 80
(trifósforo)

16/32 w
IRC 85
3.000/4.000/5.000° K
72/84 lm/w
φ: 26 mm

Depósitos, galpões industriais,
supermercados, escritórios, escolas,
hospitais, residências e similares



Energy
Saver

Nome/ Categoria	P (w)	Base	φ (lm)	μ (lm/w)	Cor (°K)	IRC (%)	φ (mm)	Vida Média	Eq. auxiliar
TLDRS Super 80	16	G13	1.200	75	3.000	85	26	(10.000)	PR/E
Master	16		1.200	75	4.000				
(trifósforo)	16		1.150	72	5.000				
	32		2.700	84	3.000				
	32		2.700	84	4.000				
	32		2.600	81	5.000				