

# **Eletrotécnica**

**I e II**

**Instalações Elétricas**

**Em**

**Baixa Tensão**

**Prof.º Reinaldo Lopes**

# CAPÍTULO 1

## LUMINOTÉCNICA

### Bibliografia :

- Iluminação e fotometria – Vinicius Araujo – Ed. Edgard Blucher
- Instalações Elétricas – Prof<sup>o</sup> Ademaro A. Cotrim – Ed Pearson – Sied
- norma técnica NBR – 5410 – ABNT /COBEI - 2004

# LUMINOTÉCNICA

## A - Conceitos Físicos e Subjetivos:

### 1 - Espectro Eletromagnético:

$$v = c.f = 3 \times 10^5 \text{ Km/s}$$

Radiação	c (nm)	Faixa
Ondas Hertzianas	acima de 10.000	comunicações
Infra-Vermelho	de 780 a 10.000	aquecimento
Luz Visível	de 630 a 780	vermelho
	de 590 a 630	laranja
	de 570 a 590	amarelo
	de 450 a 570	verde/azul
	de 380 a 450	violeta
Ultra-Violeta	de 310 a 380	UV-próxima (luz negra) - não prejudicial
	de 290 a 310	UV-intermediária (vitamina D)
	de 200 a 290	UV-remota (germicida) - produz ozônio
Raios X	abaixo de 200	Transparencias médicas e industriais

### 2 - Intensidade Luminosa (I):

Antigamente era adotada a vela padrão (internacional), hoje é a candela (cd) que representa a intensidade luminosa emitida através de uma minúscula superfície (na direção perpendicular) de  $1/600.000 \text{ m}^2$  de um corpo negro à temperatura de solidificação da platina sob pressão de  $101325 \text{ N/m}^2$ .

### 3 - Fluxo Luminoso ( $\phi$ ):

É o fluxo energético, emitido no interior de um ângulo sólido de um esferoradiano, por uma fonte puntiforme, constante de 1 cd, que produzirá 12,56 lumens ( $1 \text{ sr} = 4.\pi.R^2$ ).

### 4 - Nível de Iluminamento (E):

É a relação entre o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada:  $E = \phi/S$

$$1 \text{ lm}/1 \text{ m}^2 = 1 \text{ lx (lux)}$$

Alguns exemplos de Níveis de Iluminamento segundo as normas ABNT e IES:

Atividade	ABNT	IES	Atividade	ABNT	IES
<b>Escolas</b>	<b>(Lux)</b>	<b>(Lux)</b>	<b>Lojas</b>	<b>(Lux)</b>	<b>(Lux)</b>
Salas de Aula	200	700	Circulação	100	300
Salas de Desenho e Artes	350	1.000	Áreas de Exposição	350	1.000
Refeitórios	100	300	Balcões/Mostruários	600	2.000
Auditórios	60	150	Exposição de Realce	1.500	5.000
Quadro Negro	250	1.500	Depósitos	80	300
<b>Biblioteca</b>	<b>(Lux)</b>	<b>(Lux)</b>	<b>Indústrias</b>	<b>(Lux)</b>	<b>(Lux)</b>
Iluminação em Geral	100	300	Inspeção Comum	300	500
Mesas	300	700	Inspeção Delicada	500	1.000
Fichários	250	700	Montagem Simples	200	500
<b>Escritórios</b>	<b>(Lux)</b>	<b>(Lux)</b>	Montagem Delicada	1.000	5.000
Salas de Trabalho	250	700	Fabricação em Geral	300	500
Salas de Desenho	400	1.500	Depósitos	60	120
Arquivos	200	300	Empacotamento	80	500

### 5 - Fator de Reflectância (r):

É a relação entre fluxos refletido e incidente, numa superfície:  $r = \phi_r / \phi_i$

Superfície	Fatores de Reflectância
Vidro Espelhado, Alumínio Polido	de 0,80 a 0,90
Branco e Fosco Claro	de 0,65 a 0,80
Amarelo, Marmore Claro e Aço Polido	de 0,55 a 0,70
Verde Claro e Alumínio Fosco	de 0,45 a 0,65
Rosa, Cinza Claro e Azul Claro	de 0,40 a 0,50
Madeira Clara, Vermelho e Concreto Claro	de 0,30 a 0,50
Areia Claro, Beje e Tijolo Claro	de 0,30 a 0,40
Granito, Reboque, Concreto e Areia Escuro	de 0,15 a 0,25
Madeira Escura, Verde, Marron e Vermelho	de 0,10 a 0,20

### 6 - Fator do Local (K):

Relaciona as medidas do recinto a ser iluminado no sentido da determinação prática do fator de utilização (Fu), através dos fatores r.

$$K = \frac{C \cdot L}{h_u (C + L)}$$

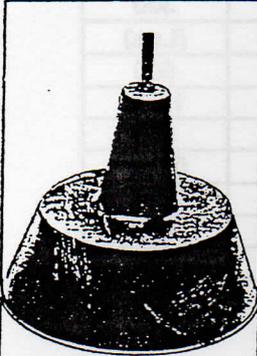
C = comprimento do recinto  
L = largura do recinto  
h<sub>u</sub> = altura útil da iluminação

### 7 - Fator de Utilização (Fu):

Relaciona os fluxos luminosos incidentes e o total emitido (ou nominal):  $F_u = \phi_i / \phi_n$

$$F_u = f (r e K)$$

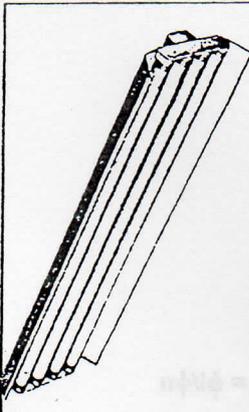
Notação: r = 751 representa  $r_t = 0,70$  (teto);  $r_p = 0,50$  (paredes) e ainda  $r_c = 0,10$  (chão).



K ↓	70 W - 80 W								125 W - 160 W							
	r								r							
	751	731	711	551	531	511	331	311	751	731	711	551	531	511	331	311
0,60	,26	,21	,18	,25	,21	,18	,21	,18	,29	,23	,19	,28	,23	,19	,22	,19
0,80	,32	,28	,24	,32	,27	,24	,27	,24	,36	,30	,26	,35	,30	,25	,29	,25
1,00	,37	,33	,30	,36	,32	,29	,32	,29	,42	,36	,31	,41	,35	,31	,35	,31
1,25	,42	,38	,35	,41	,37	,34	,37	,34	,47	,42	,37	,46	,41	,37	,40	,37
1,50	,46	,42	,39	,44	,41	,38	,40	,38	,51	,46	,42	,50	,45	,41	,44	,41
2,00	,50	,47	,44	,49	,46	,44	,46	,43	,58	,53	,49	,56	,52	,49	,51	,48
2,50	,53	,51	,48	,52	,50	,48	,49	,47	,62	,58	,54	,60	,56	,53	,55	,53
3,00	,55	,53	,51	,54	,52	,50	,51	,49	,64	,61	,58	,63	,60	,57	,59	,56
4,00	,58	,56	,54	,56	,55	,53	,54	,52	,68	,65	,62	,66	,64	,61	,62	,61
5,00	,59	,57	,56	,58	,56	,55	,55	,54	,70	,68	,65	,68	,66	,64	,65	,63



K ↓	250 W								400 W							
	r								r							
	751	731	711	551	531	511	331	311	751	731	711	551	531	511	331	311
0,60	,38	,34	,32	,37	,34	,32	,34	,32	,37	,33	,31	,36	,33	,30	,33	,30
0,80	,42	,39	,37	,42	,39	,37	,39	,37	,43	,39	,36	,42	,39	,36	,38	,36
1,00	,46	,43	,41	,46	,43	,41	,43	,41	,47	,44	,41	,46	,43	,41	,43	,41
1,25	,50	,47	,45	,49	,46	,45	,46	,44	,51	,48	,46	,50	,48	,46	,47	,45
1,50	,52	,50	,48	,51	,49	,47	,48	,47	,54	,51	,49	,53	,51	,49	,50	,48
2,00	,55	,53	,52	,54	,53	,51	,52	,51	,58	,56	,54	,57	,55	,53	,54	,53
2,50	,57	,56	,54	,56	,55	,54	,54	,53	,60	,58	,57	,59	,57	,56	,56	,55
3,00	,59	,57	,56	,58	,56	,56	,56	,55	,61	,60	,59	,60	,59	,58	,58	,57
4,00	,60	,59	,58	,59	,58	,57	,57	,57	,63	,62	,61	,62	,61	,60	,60	,59
5,00	,61	,60	,59	,60	,59	,58	,58	,57	,64	,63	,62	,62	,62	,61	,61	,60



K ↓	(W) 1x 20 - 2x 20 - 4x 20									(W) 1x 40 - 2x 40 - 4x 40								
	r									r								
	751	731	711	551	531	511	331	311		751	731	711	551	531	511	331	311	
0,60	,35	,28	,23	,31	,25	,21	,22	,19		,33	,26	,20	,30	,23	,19	,21	,17	
0,80	,43	,36	,30	,38	,32	,27	,28	,24		,41	,33	,27	,37	,30	,25	,27	,23	
1,00	,50	,42	,36	,44	,38	,33	,33	,29		,47	,39	,33	,42	,35	,30	,32	,28	
1,25	,56	,49	,43	,49	,43	,38	,38	,34		,53	,45	,39	,47	,41	,36	,37	,33	
1,50	,61	,54	,48	,54	,48	,43	,42	,38		,57	,50	,44	,52	,46	,41	,41	,37	
2,00	,68	,61	,56	,60	,55	,50	,48	,45		,64	,58	,52	,58	,53	,48	,48	,44	
2,50	,72	,67	,62	,64	,60	,56	,53	,50		,69	,63	,58	,62	,57	,53	,52	,48	
3,00	,76	,71	,66	,67	,63	,60	,56	,53		,72	,67	,62	,66	,61	,57	,55	,52	
4,00	,80	,76	,72	,71	,68	,65	,60	,58		,77	,72	,68	,70	,66	,62	,60	,57	
5,00	,83	,80	,76	,74	,71	,68	,63	,61		,80	,76	,72	,73	,69	,66	,63	,60	



(W)	2x 20			- 4x 20			- 2x 65			1x 40		- 2x 40		- 4x 40		
K	r															
↓	751	731	711	551	531	511	331	311	751	731	711	551	531	511	331	311
0,60	,27	,22	,19	,25	,21	,18	,20	,17	,28	,23	,20	,26	,22	,19	,22	,19
0,80	,33	,28	,24	,30	,26	,23	,25	,22	,34	,29	,25	,32	,28	,25	,27	,24
1,00	,37	,32	,28	,34	,30	,27	,28	,26	,38	,33	,30	,36	,32	,29	,31	,28
1,25	,41	,36	,33	,38	,34	,31	,32	,29	,42	,38	,34	,40	,36	,33	,35	,32
1,50	,44	,40	,36	,41	,37	,34	,35	,32	,45	,41	,38	,43	,39	,36	,37	,35
2,00	,49	,45	,42	,45	,42	,39	,39	,37	,50	,46	,43	,47	,44	,41	,42	,40
2,50	,52	,48	,45	,48	,45	,43	,42	,40	,53	,49	,47	,50	,47	,45	,45	,43
3,00	,54	,51	,48	,50	,48	,45	,44	,42	,55	,52	,49	,52	,49	,47	,47	,45
4,00	,57	,54	,52	,53	,51	,49	,47	,46	,57	,55	,53	,54	,52	,50	,50	,48
5,00	,59	,56	,54	,55	,53	,51	,49	,48	,59	,57	,55	,56	,54	,52	,51	,50

### 8 - Classificação dos Sistemas de Iluminação:

Conforme a distribuição espacial do fluxo luminoso, emitida por uma fonte em relação ao seu plano horizontal (passa pelo centro) temos:

DIVERSOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO			
CURVA FOTOMÉTRICA	CLASSIFICAÇÃO	DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO LUMINOSO (%)	
		PARA O SEMI-ESPAÇO SUPERIOR	PARA O SEMI-ESPAÇO INFERIOR
	DIRETA	0-10	100-90
	SEMI-DIRETA	10-40	90-60
	MISTA	40-60	60-40
	SEMI-INDIRETA	60-90	40-10
	INDIRETA	90-100	10-0

### 9 - Fator de Depreciação (Fd):

É a relação entre os fluxos de uma fonte, após funcionar 50% e 10% de sua vida, ou seja, o de meia vida e o nominal:  $Fd = \phi M / \phi n$

Local	Período de Manutenção (anos)											
	Sem Luminária			Sistema de Iluminação Semidireta			Sistema de Iluminação Direta ou Indireta			Sistema de Iluminação Semi-Indireta		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Muito Limpo	0.97	0.96	0.93	0.93	0.88	0.86	0.93	0.87	0.81	0.98	0.96	0.94
Limpo	0.94	0.90	0.87	0.88	0.83	0.79	0.87	0.78	0.70	0.94	0.89	0.88
Médio	0.90	0.85	0.80	0.84	0.78	0.73	0.81	0.68	0.55	0.90	0.86	0.81
Sujo	0.84	0.79	0.75	0.78	0.70	0.75	0.76	0.59	0.49	0.87	0.80	0.77
Muito Sujo	0.72	0.60	0.55	0.72	0.63	0.59	0.69	0.49	0.39	0.83	0.75	0.70

### 10 - Efeito Estroboscópico:

A radiação luminosa produzida é proporcional à corrente instantânea da fonte, sem polaridade (como se fosse retificada a onda completa), porém com uma certa inércia, em virtude do emprego de material fluorescente na lâmpada.

### 11 - Eficiência Luminosa (EF):

É a relação entre o fluxo total emitido por uma fonte e a potência por ela absorvida:

$$EF = \text{lm/W}$$

### 12 - Índice de Reprodução de Cores (IRC):

É um número subjetivo de 0 a 100, de uma fonte artificial, em comparação com a ideal, na mesma temperatura de cor.

### 13 - Vida Média de uma Lâmpada (M):

Uma certa quantidade de lâmpadas é ligada em condições normais. No instante que essa quantidade acesa, cair à metade tem-se o tempo de vida médio em horas.

### 14 - Temperatura de Cor (T):

Experimentalmente foi verificado que uma fonte quando trabalha a uma temperatura  $T$ , irradia luz, cuja maior densidade se dá no comprimento  $c$ , onde:  $c \cdot T = 2,88 \times 10^6 = \text{cte}$  ( $\text{nm} \cdot ^\circ\text{K}$ ).

Exemplos:

Sol (meio dia):  $c = 255 \text{ nm}$  —————>  $T = 5200^\circ\text{K}$

Lâmpada incandescente:  $c = 993 \text{ nm}$  —————>  $T = 2900^\circ\text{K}$

Lâmpada Vapor de mercúrio:  $c = 703 \text{ nm}$  —————>  $T = 4100^\circ\text{K}$

Lâmpada	T(°K)	IRC	EF (lm/W)
Incandescente Comum	2.800	98	20
Incandescente Halógena	3.200	100	24
Fluorescente Luz do Dia	6.500	64	64
Fluorescente Branca Natural	4.200	96	42
Vapor de Mercúrio	4.100	47	45
Vapor Múltiplo	5.100	90	90
Vapor de Sódio (baixa pressão)	3.200	—	180
Vapor de Sódio (alta pressão)	2.200	35	110

## B - Lâmpadas:

### 1 - Lâmpada Incandescente:

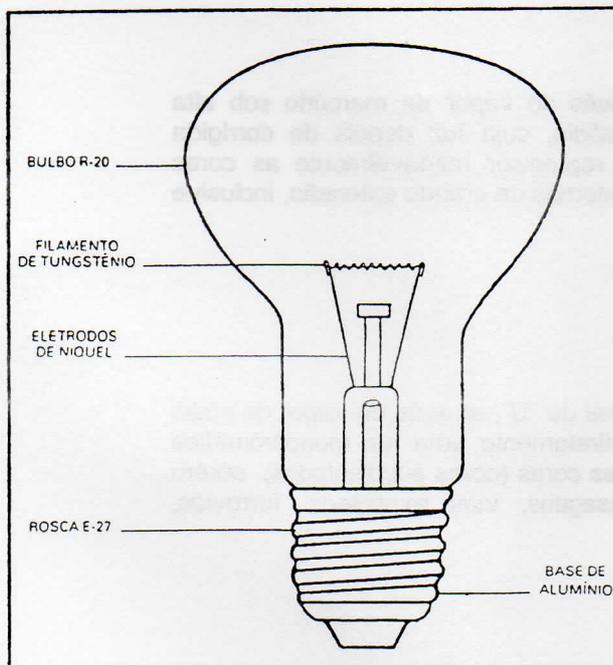
Dentro de um bulbo sob vácuo ou com resíduos de gases inérfes, é alojado um filamento de tungstênio, que na incandescência atinge cerca de  $2600^{\circ}\text{C}$ . Com o tempo, o material do filamento desprende-se e deposita-se no bulbo, reduzindo o fluxo luminoso e a vida útil. A lâmpada incandescente emite luz branca amarelada e reproduz bem as cores "quentes", sendo indicada para iluminação industrial, projetores e instalações gerais de baixo custo.

### 2 - Lâmpada Halógena:

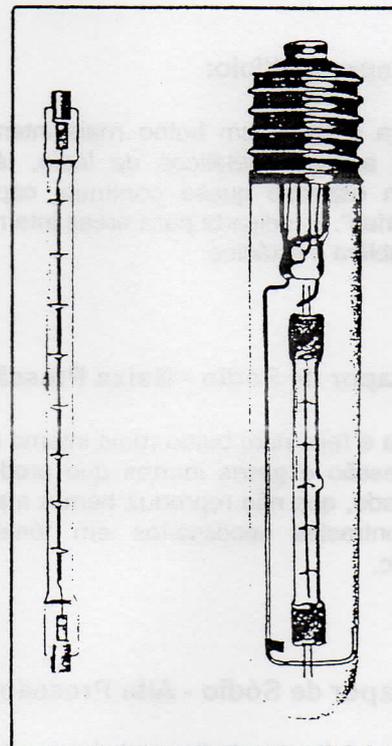
É uma lâmpada incandescente "melhorada", ou seja, no interior do bulbo de quartzo são encerradas partículas de iodo que se combinam com o material despreendido do filamento, produzindo-se o iodeto de tungstênio, o qual deposita-se no filamento, tendo-se assim um ciclo regenerativo, capaz de aumentar ao dobro a vida da lâmpada e melhorar ainda a quantidade da iluminação.

A lâmpada halógena emite luz branca, é indicada para faróis, refletores, projetores para fotografias, cinema, teatro e TV, podendo ser empregada em vitrinas, fachadas, etc.

Lâmpada Incandescente:



Lâmpada Halógena:



### 3 - Lâmpada com Descarga nos Gases:

A descarga entre os eletrodos da lâmpada, só é possível se for reduzida a sua resistência interna e aumentado o potencial entre os mesmos.

Sob relativa baixa pressão interna, são aquecidos os eletrodos, para aumentar o número de elétrons livres na sua superfície e tornar sob a forma de gás, ou vapor, os elementos inter-descarga.

Com essas condições e com uma diferença de potencial adequada entre eletrodos, inicia-se a descarga elétrica dos gases ou vapores.

Os elétrons dos átomos dos gases ao receberem energia, ocupam orbitas iniciais emitindo radiações, principalmente na faixa do ultra-violeta.

As paredes internas do bulbo, com material de fósforo, ítrio e vanádio, convertem as radiações ultra-violetas em visíveis, pelo mesmo princípio da excitação dos seus elétrons.

Após a partida da lâmpada, a sua resistência continua sendo reduzida e conseqüentemente a corrente elétrica é aumentada a qual deve ser limitada, através de reatores adequados.

#### **4 - Lâmpada Vapor de Mercúrio:**

A descarga é feita no bulbo interno de quartzo, através do vapor de mercúrio sob alta pressão e emite radiações ultra-violeta que após convertidas em visíveis são de cor branca azulada.

Reproduz bem as cores "frias" e é indicada para iluminação pública, industrial e grandes áreas.

#### **5 - Lâmpada Vapor Múltiplo:**

A descarga é feita num bulbo mais interno através do vapor de mercúrio sob alta pressão com aditivos metálicos de índio, tálio e sódio, cuja luz depois de corrigida apresenta um espectro quase contínuo, capaz de reproduzir razoavelmente as cores "quentes" e "frias". É indicada para áreas internas e externas de grande extensão, inclusive iluminação pública e estádios.

#### **6 - Lâmpada Vapor de Sódio - Baixa Pressão:**

A descarga é feita num bulbo mais interno em forma de "U", através do vapor de sódio sob baixa pressão e gases inertes que produzem diretamente uma luz monocromática amarelo-dourado, que não reproduz bem a maioria das cores (cores acinzentadas), porém realça os contrastes necessários em túneis, passagens, vias expressas, ferrovias, aeroportos, etc.

#### **7 - Lâmpada Vapor de Sódio - Alta Pressão:**

A descarga é feita num bulbo mais interno (de óxido de alumínio sintetizado), através do vapor de sódio de alta pressão.

A luz depois de corrigida (com a ajuda de raios infra-vermelhos), é de cor branca dourada (policromática), sendo capaz de reproduzir melhor as cores que a vapor de sódio de baixa pressão, quase se assemelhando com a de vapor múltiplo.

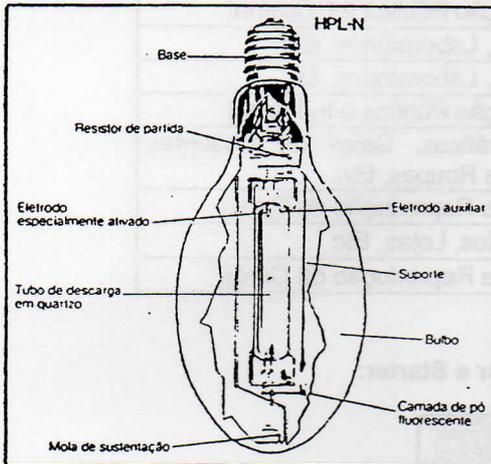
As aplicações são intermediárias às de vapor múltiplo e de sódio baixa pressão.

## 8 - Lâmpada Vapor de Mercúrio Mista:

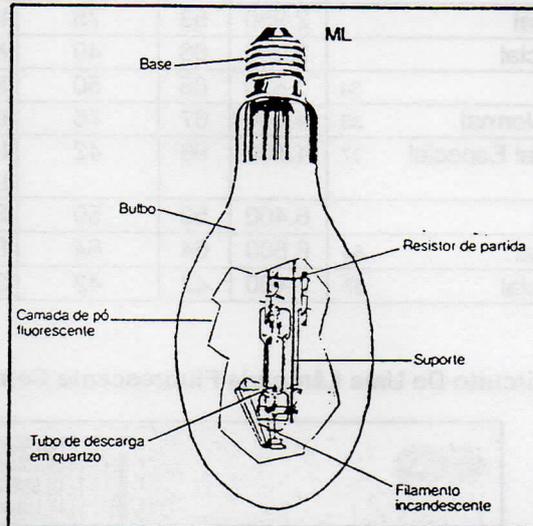
É uma lâmpada de descarga, através do vapor de mercúrio, sob alta pressão, que contém em série com o bulbo de descarga, um filamento capaz de substituir o reator (limita a corrente), enquanto emite luz incandescente.

As aplicações são intermediárias entre as de vapor de mercúrio (pura) e as incandescentes.

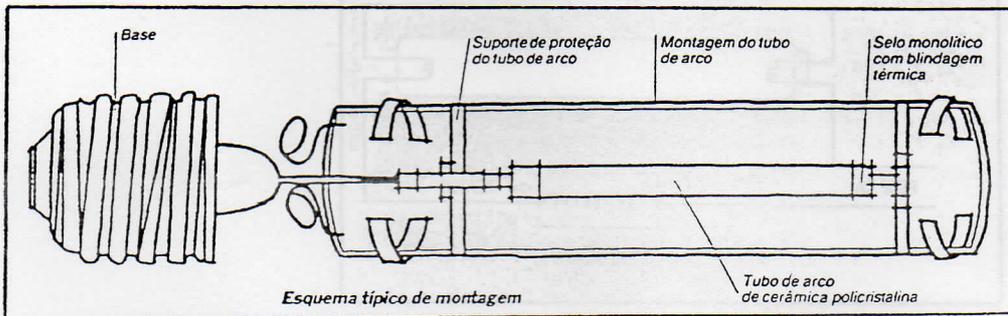
**Vapor de Mercúrio:**



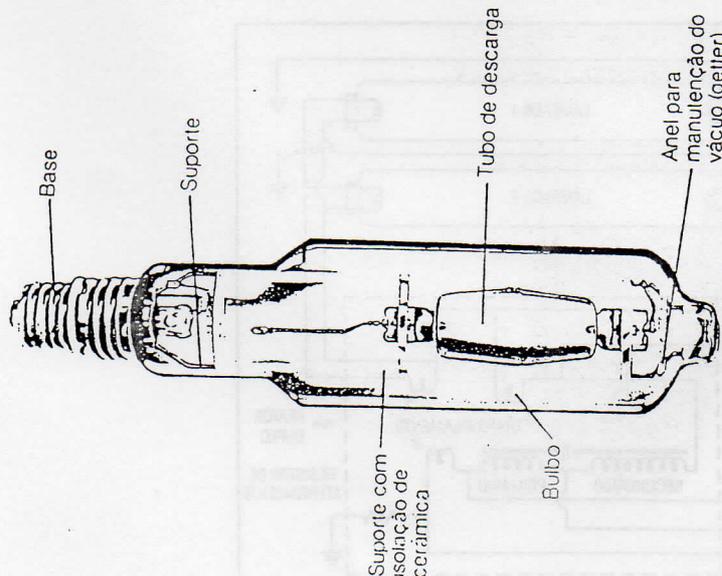
**Mista:**



**Vapor de Sódio:**



**Multivapores:**



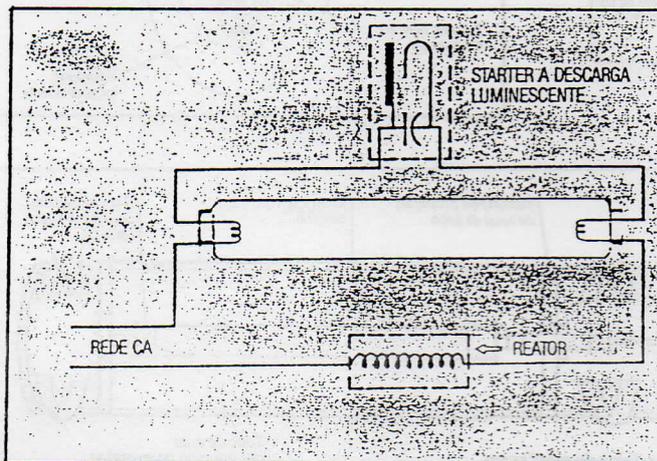
## 9 - Lâmpada Fluorescente:

A descarga é feita num bulbo de cristal, através do mercúrio, sob baixa pressão, que emite radiações ultra violeta.

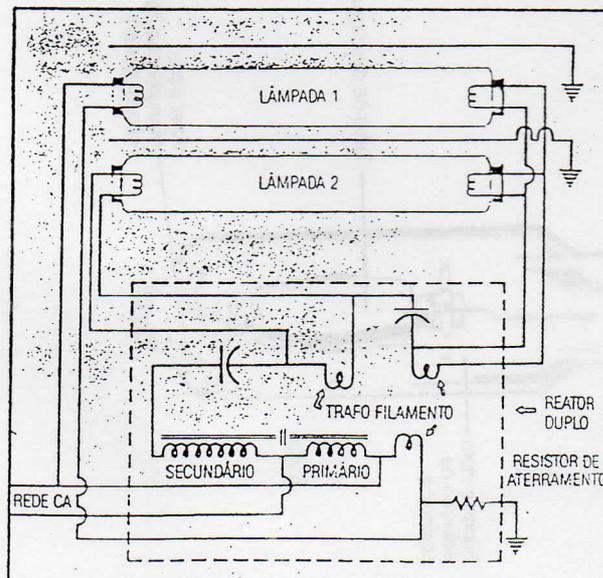
As radiações depois de convertidas em visíveis, são de várias tonalidades e eficiência dependendo dos materiais fluorescentes presentes nas paredes internas do bulbo.

Cor	Tonalidade	T (°k)	IRC	EF (lm/W)	Aplicações
Branca Quente	Suave de Luxo 27	2.700	94	42	Residencial/Ambientes de Estar
	Normal	2.950	53	75	Iluminação Pública e Industrial
	Especial	2.950	86	49	Museus, Laboratórios, Etc
Branca	Luxo 34	3.800	85	50	Museus, Laboratórios, Etc
	Fria Normal 33	4.200	67	75	Iluminação Pública e Industrial
	Natural Especial 37	4.200	96	42	Ind. Gráficas, Salas de Desenho, Lojas de Roupas, Etc.
Luz Do Dia	Luxo	6.400	50	50	Salas de Reprodução de Cores
	Normal 54	6.500	64	64	Escritórios, Lojas, Etc
	Especial 57	7.400	42	42	Salas de Reprodução de Cores

Circuito De Uma Lâmpada Fluorescente Com Reator e Starter:



Circuito De Duas Lâmpadas Fluorescentes Em Partida Rápida:



## 10 - Comparação Entre Lâmpadas:

Característica	Incandescente	Halógena	V. Mercúrio Mista	V. Mercúrio (A.P.)	Vapor Múltiplo	V. Sódio BP/AP	Fluorescente
Acessórios	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não/Sim	Sim
Eficiência (lm/W)	8 a 20	17 a 22	18 a 25	44 a 65	70 a 100	100/185	50 a 75
Vida Útil (horas)	1.000	2.000	6.000	15.000	9.000	9.000/13.000	7.500
Posição Instalação	Universal	Horizontal	Universal exceto 160W	Universal	Depende do Tipo	Horizontal/Universal	Universal
Io/In	Até 14	Até 14	Até 1,5	Até 2	Até 2	Até 1	Até 2
Reacendimento	Imediato	Imediato	Retardado	Retardado	Retardado	Imediato/Retardado	Imediato
Influência da Tensão	Fluxo e Vida	Fluxo e Vida	Fluxo e Vida	Fluxo	Fluxo	Pouco no Fluxo	Pouco no Fluxo

## C - Cálculo de Iluminação pelo Método dos "Lumens" (Fluxo Total):

### 1 - Tabela de Fluxos:

Incandescente			Incandescente Halógena	Vapor de Mercúrio Mista	Vapor de Mercúrio A.P.	Vapor Múltiplo	Vapor de Sódio A.P.	Fluorescente		
Pot. W	120V lm	220V lm						W	nº	lm
15	135	120	22/1,0	2,9/160	3,5/80	*28/0,4	*23/250	15	54	770
25	265	230	33/1,5	5,2/250	6,25/125	30/0,4	23,5/250	20	33	900
40	495	430	44/2,0	12,5/500	13,5/250	88/1,0	*43/400	20	27	650
60	830	730	260/10,0	23,0/400	23,0/400	**180/2,0	47/400	30	37	650
75	1080	960						30	34	760
100	1560	1380	57,0/1000	120/200	190/2,0	190/2,0	47/400	30	54	1900
150	2360	2100						30	33	2250
200	3300	2950	120/200	120/200	190/2,0	190/2,0	47/400	40	27	1700
300	5150	4750						40	37	1700
500	9300	8400	120/200	120/200	190/2,0	190/2,0	47/400	40	34	2020
1000	20000	18800						40	54	2550
1500	31500	30000	120/200	120/200	190/2,0	190/2,0	47/400	65	33	3000
								65	54	4050
			120/200	120/200	190/2,0	190/2,0	47/400	105	33	5000
								105	54	7600
			120/200	120/200	190/2,0	190/2,0	47/400	115	33	8900
								115	54	5900
			120/200	120/200	190/2,0	190/2,0	47/400	140	33	7100
								140	54	7500
			120/200	120/200	190/2,0	190/2,0	47/400	160	33	8700
								160	54	9000
			120/200	120/200	190/2,0	190/2,0	47/400	160	33	10600
								160	54	9000

\* Luz Corrigida

\*\*Funcionamento Universal

## 2 - Desenvolvimento:

$E = \bar{\phi}i/S$  (iluminamento médio), sendo:  $F_u = \bar{\phi}i/\bar{\phi}n \implies \bar{\phi}i = F_u \cdot \bar{\phi}n$

e ainda:  $\bar{\phi}n = \phi n \cdot F_d$ , então:  $\bar{\phi}i = F_u \cdot F_d \cdot \phi n$  logo:

$E = F_u \cdot F_d \cdot \phi n / S$ , mas:  $\phi n = \phi \cdot N \cdot n$  onde:

$\phi$  = fluxo nominal por lâmpada;  
 $N$  = número de luminárias;  
 $n$  = número de lâmpadas por luminária.

então:  $E = F_u \cdot F_d \cdot \phi \cdot N \cdot n / S$  daí vem:

$$N = E \cdot S / \phi \cdot n \cdot F_u \cdot F_d$$

## 3 - Luminárias:

As luminárias devem ser escolhidas entre os vários tipos comerciais existentes, levando-se em conta:

- Instalação abrigada ou ao tempo.
- Qualidade dos materiais construtivos.
- Reduzido custo de instalação.
- Reduzido custo de manutenção.
- Baixo ofuscamento.
- Abertura do feixe em função da aplicação.
- Alto fator de depreciação.
- Alto fator de utilização.
- Estética adequada ao ambiente, etc.

## 4 - Resultados:

As luminárias devem ser dispostas em filas regulares e harmoniosas. Como o método dos lumens baseia-se no iluminamento médio, deve ser verificado se os espaçamentos (a,b) entre eixos, em função da altura útil (hu) da luminária, atende o grau de uniformidade desejado.

Em caso negativo, deve-se adotar um número maior de luminárias. Para não se ter o custo e iluminamento elevado, deve-se utilizar luminárias com lâmpadas de menor potência e/ou um número menor de lâmpadas por luminária.

Uniformidade	Ótima	Boa	Razoável	Ruim
a,b	< 0,5 hu	de 0,5 hu a 1,0 hu	de 1,0 hu a 1,5 hu	> 1,5 hu

Nota: Entre os eixos das luminárias e as paredes, adota-se metade dos espaçamentos.

## D - Calculo pelo Método do Ponto (a Ponto):

### 1 - Introdução:

Fixamos uma luminária k (ou simplesmente uma lâmpada), na origem de um sistema de coordenadas X, Y, Z.

O plano YZ, ou horizontal, contém ainda um ponto H. A luminária k, "enxerga" o ponto H segundo o ângulo  $\theta_h$ .

O plano XZ, ou vertical, contém ainda um ponto V. A luminária k, "enxerga" o ponto V segundo um ângulo  $\theta_v$ .

Um ponto P do espaço, pode ser rebatido, dando origem às imagens H e V, respectivamente, nos planos horizontal e vertical.

Pelo exposto, podemos dizer que, a luminária k, "enxerga" o ponto P segundo os ângulos  $\theta_h$  e  $\theta_v$ .

Demonstra-se que o iluminamento devido a fonte k, no ponto p é:

$$E_{Pk} = \frac{10^{-3} \cdot \phi_k \cdot I_{\theta_{hv}} \cdot \cos^3 \theta_v}{H_k^2} \quad \text{onde:}$$

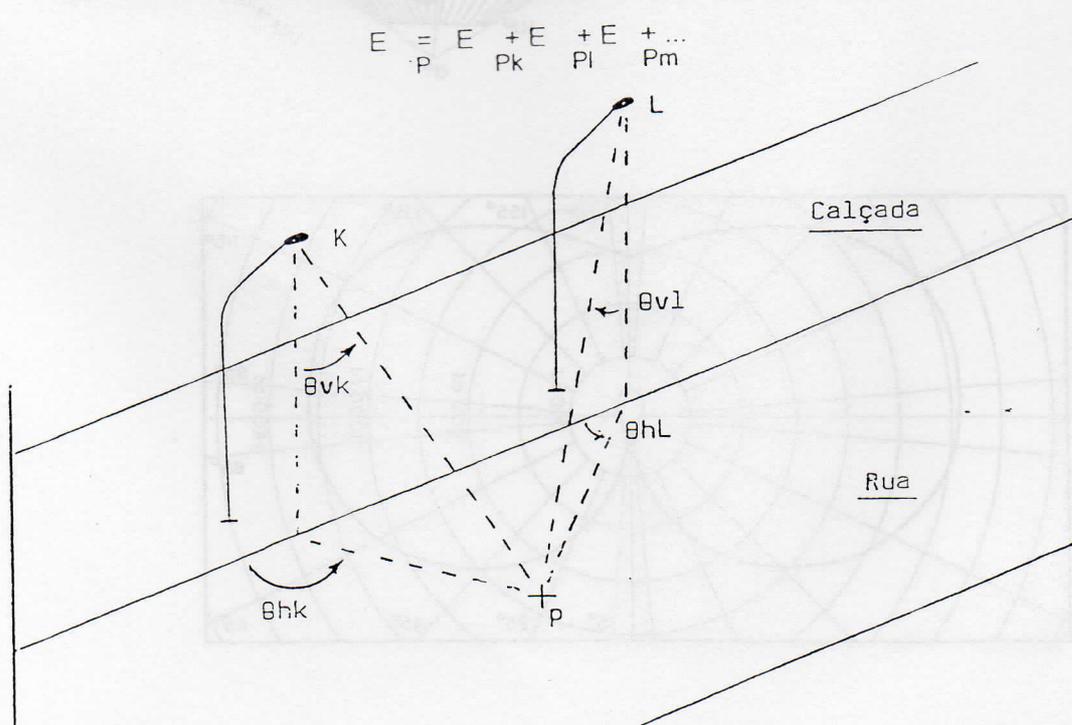
$\phi_k$  = fluxo luminoso da fonte k. (lm)

I = Intensidade luminosa da fonte k, na direção P, segundo os ângulos  $\theta_h$  e  $\theta_v$  por 1000 lumens. (cd/lm)

H = Altura de montagem da luminária k. (m)

Havendo contribuição de outras fontes l, m, n, ..., o iluminamento no ponto P será:

$$E_P = E_{Pk} + E_{Pl} + E_{Pm} + \dots$$



## 2 - Curvas Fotométricas (exemplos):

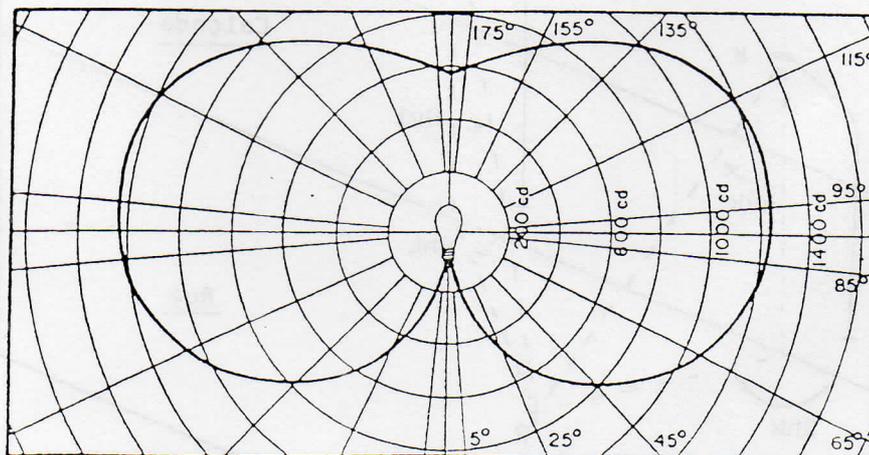
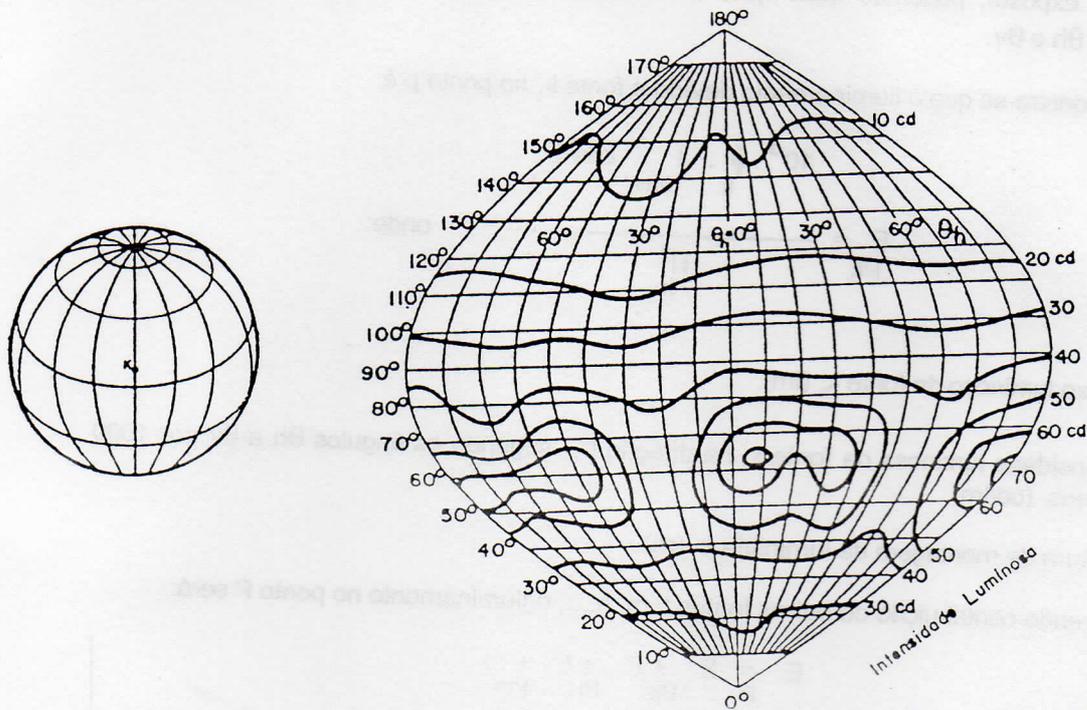
A intensidade luminosa referida no item anterior, é levantada experimentalmente, em todos os pontos do sistema de coordenadas XYZ, cuja origem coincide também com o centro de uma esfera, onde é instalada a luminária.

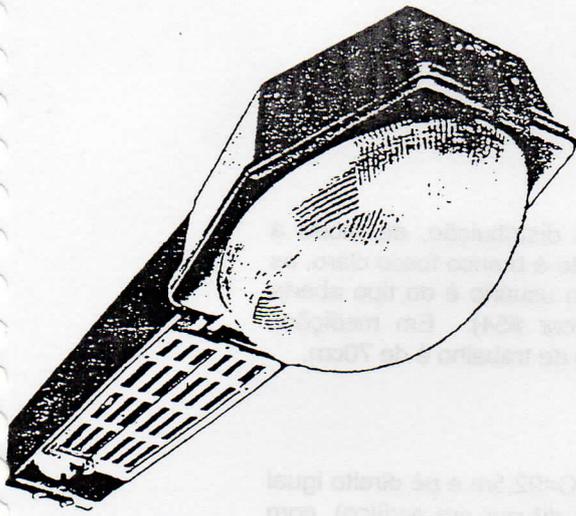
São traçados vários planos meridionais da esfera, espaçados de 10 a 45° e levantadas as intensidades em todos os pontos desses planos.

Essas curvas são chamadas polares, sendo uma por meridiano, ou então várias sobrepostas numa única carta.

Um levantamento mais completo (não utiliza planos meridionais), consiste na indicação das intensidades diretamente sobre a superfície da esfera acima referida, que recebe o nome de curvas isocandelas.

A carta é feita com o achatamento da superfície da esfera num plano, como se fosse um mapa-mundi.



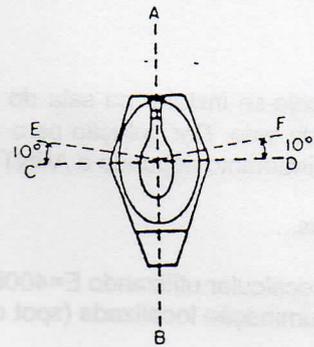
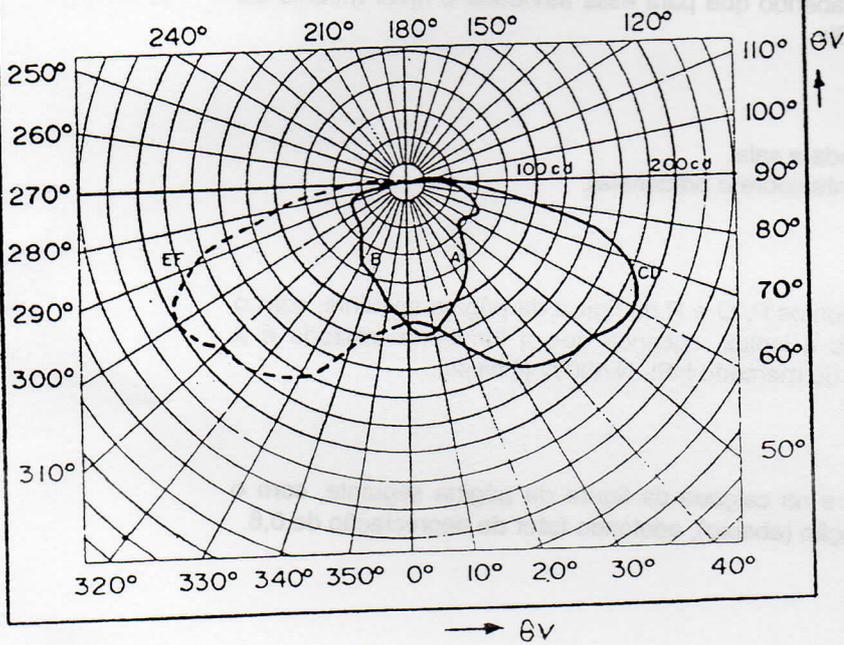


**PHILIPS**

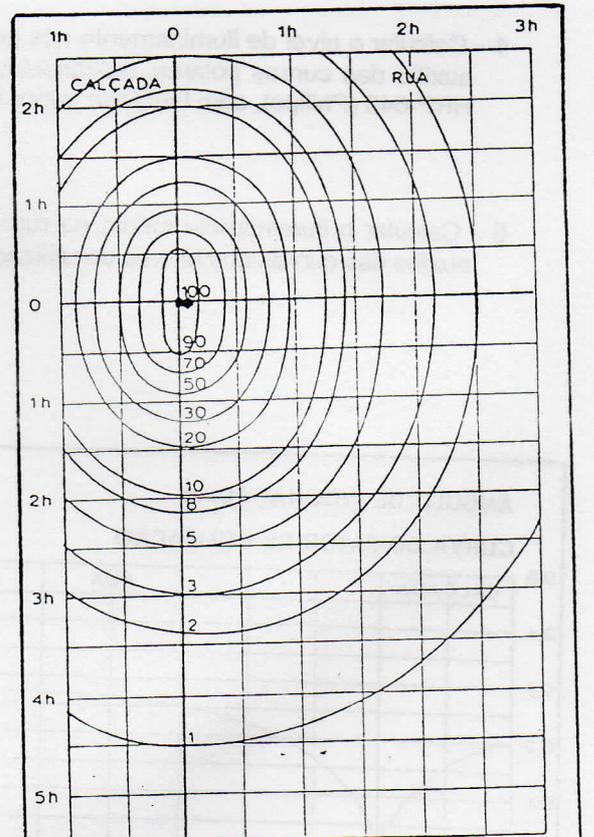
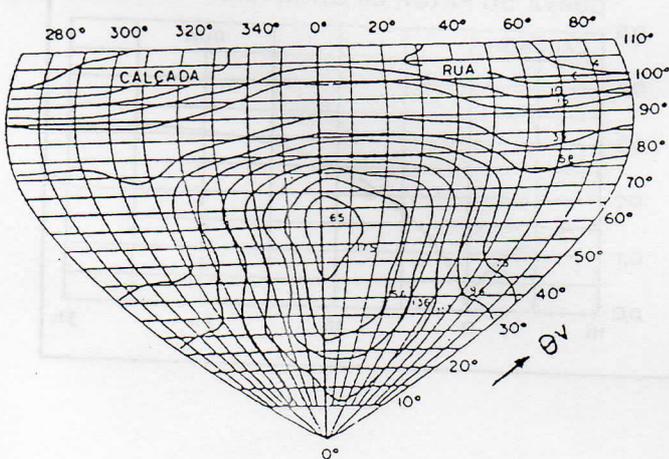
**DADOS FOTOMÉTRICOS PARA LÂMPADA: HPL-N 400 W**

**ÂNGULO DE INCLINAÇÃO: 0°**

**CURVAS POLARES DE DISTRIBUIÇÃO DE LUZ POR 1.000 lm**



**DIAGRAMA DE CURVAS ISOCANDELAS POR 1.000 lm**



**DIAGRAMA DE CURVAS ISOLUX RELATIVAS NUM PLANO**

$$E_{\max} = 0,108 \cdot \frac{\phi}{h^2}$$

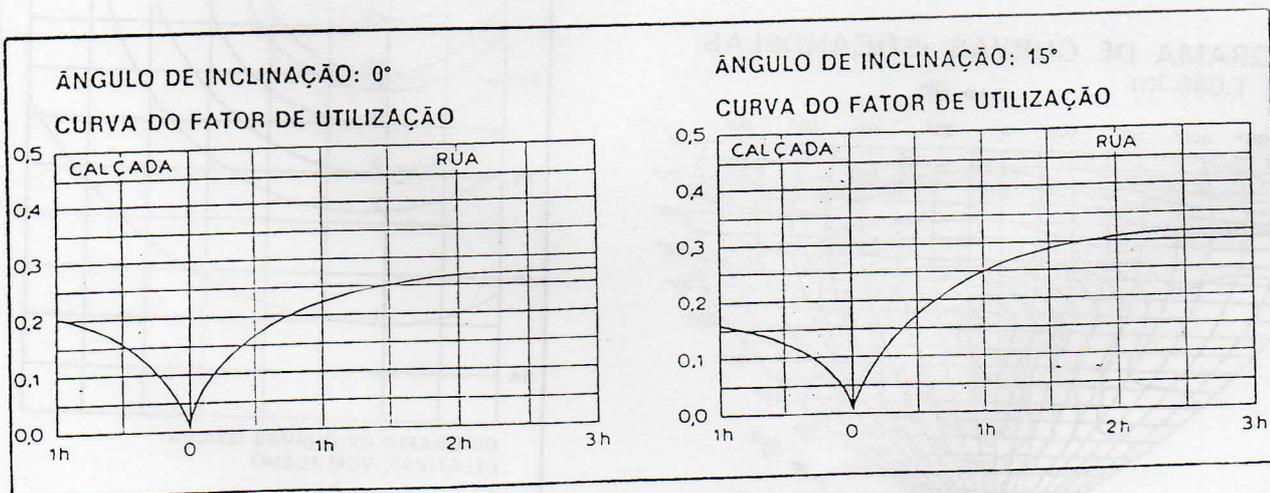
$\phi$  = Fluxo luminoso da lâmpada em lúmens.  
 $h$  = Altura de montagem em metros.

## E - Exercícios:

- 1 - Calcular o número de luminárias necessário, bem como sua distribuição, de modo a iluminar um escritório de 12x10m e pé direito de 2,88m onde o teto é branco fosco claro, as paredes cinza claras e o chão preto. A luminária escolhida pelo usuário é do tipo aberta (sem difusor), com lâmpada fluorescente luz do dia normal (cor #54). Em medições realizadas "in loco", verificou-se que a distância do chão ao plano de trabalho é de 70cm.
- 2 - Idem ao anterior, porém sendo as medidas do recinto L=26,4m; C=92,5m e pé direito igual a 4,80m. A luminária a ser utilizada é a do tipo fechada (com difusor em acrílico), com duas lâmpadas fluorescentes luz do dia normal de 20W(cor #54).
- 3 - Deseja-se instalar na sala do exercício 5.1 duas pranchetas de desenho, quadradas com 1m de lado. Dar solução para o caso sabendo que para essa atividade o nível mínimo de iluminamento segundo a ABNT é de 400lx.

Dicas...

- a) Recalcular utilizando  $E=400\text{lx}$  para toda a sala.
  - b) Iluminação localizada (spot diretamente sobre a prancheta).
- 4 - Calcular o nível de iluminamento nos pontos P, Q e R da figura da página seguinte, com o auxílio das curvas polares, isocandelas e isolux, sabendo que a luminária utilizada é a HRP-543 (Philips), com lâmpada vapor de mercúrio HPL-N 400W (Philips).
  - 5 - Calcular o iluminameto médio na rua e na calçada da figura da página seguinte, com o auxílio das curvas dos fatores de utilização (abaixo), adotando fator de depreciação de 0,8.



$h = 8,00$  metros  
(Altura de Montagem)

