

# **Iluminação de Interiores**

## **Método das Cavidades Zonais**

**CURSO TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA**

*Prof. Dorival Rosa Brito*

O enfoque deste minicurso tem por objetivo fornecer as informações necessárias para se executar um projeto de iluminação para interiores. Isso pressupõe que você conheça alguns dos termos de luminotécnica como, por exemplo, fluxo luminoso, intensidade luminosa, curvas isolux, etc. No site <http://www.fazfacil.com.br/IluminacaoGlossario.htm> pode-se encontrar um glossário de A a Z dos termos elétricos utilizados em iluminação.

Alguns dos *fatores* citados no texto apresentados entre parênteses suas iniciais em inglês, para facilitar uma possível pesquisa na internet. Por exemplo, caso você deseja saber mais sobre o fator *Depreciação do recinto com a sujeira (RSDD)*, digite no site de pesquisa “RSDD illumination”.

Os cálculos de um projeto seriam extremamente simples se toda a luz produzida por uma lâmpada atingisse a área de trabalho sem que apresentasse perdas na luminária, não houvesse reflexão e absorção de parte dessa luz pelas superfícies (parede, teto, piso) do recinto, as superfícies permanecessem sempre limpas, as lâmpadas queimadas fossem imediatamente substituídas, e outras situações *ideais* que sabemos não existir na realidade.

Para exemplificar esse cálculo simples suponhamos que queremos determinar a quantidade de lâmpadas necessárias para iluminar um recinto com área de  $57,75\text{m}^2$ , com uma iluminância média de 450 lux e o fabricante informa que a lâmpada que iremos usar apresenta, quando nova, um fluxo de 3350 lumens.

Nota:  $(\text{lux})=(\text{lumens}/\text{m}^2)$ .

O número de Lâmpadas:

$$= \frac{450 \times 57,75}{3.350} \approx 8$$

Infelizmente o projeto não é tão simples assim. Existem fatos e mais fatos que afetam o fluxo luminoso que atinge o plano de trabalho, ou seja, o plano para o qual pretendemos obter um determinado nível médio de iluminância.

Vamos começar com o fato da luz ser refletida pelas superfícies do recinto, pois essa compreensão é o que nos dará a base do entendimento do significado da tal cavidade zonal.

Os materiais e cores das superfícies de um recinto refletem a luz diferentemente um dos outros. Sua medida se faz pelo Coeficiente de Reflexão que é a relação entre o *fluxo luminoso refletido* pelo *fluxo luminoso incidente*. Esses coeficientes são normalmente encontrados em tabelas, cujos valores são função das cores e materiais utilizados (Tabela 1).

Suponhamos que o teto seja pintado de branco e seu coeficiente de reflexão (refletância base) seja 50%. Isso significa que 50% do fluxo luminoso é refletido e os outros 50% serão absorvidos pelo teto. Suponhamos também que as paredes sejam pintadas de cinza-claro com correspondente refletância base de 55%. Se a montagem da luminária for no teto a refletância será os mesmos 50% pois o teto coincide com o plano das luminárias.



E se o teto estiver a uns 10 metros acima das luminárias e o recinto for bem largo? Intuitivamente, tenho certeza, você me responderá: hum!!! agora o teto refletirá bem menos. Continue com esse raciocínio para os casos de recinto largo e outro estreito de modo a considerar o efeito das paredes. Lembre-se que no recinto existe um piso (chão) e, portanto, ele também contribuirá com sua respectiva reflexão.

Para o exemplo acima de teto com refletância 50%, parede com refletância 55% e, após calcular um índice (*índice da cavidade do teto*) função das dimensões do espaço entre o teto e o plano das luminárias, obtém-se pela consulta direta de gráficos um valor efetivo da refletância da cavidade do teto de (por exemplo) 30%. Se não entendeu o exemplo não se preocupe, basta saber que as cavidades do teto e do piso apresentam uma refletância efetiva obtida como função da refletância (base) das paredes, teto e piso e dimensões da respectiva cavidade.

O conhecimento dos valores das refletâncias efetivas das cavidades do teto e piso bem como do índice da cavidade do recinto tem como finalidade obter dos catálogos de luminárias dos fabricantes um fator conhecido por Fator de Utilização da luminária (FU). Esse fator representa, portanto, a eficiência luminosa do conjunto lâmpada-luminária- recinto.

Tendo compreendido tudo o que foi dito, agora sim, podemos calcular o número de lâmpadas com mais exatidão considerando todos os efeitos que provocam uma diminuição do fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho.

Em nosso exemplo inicial de se obter uma iluminância média de 450 lux, devemos dividir 450 por um fator (F) que leve em conta todos os efeitos (f) que provoquem essa diminuição, ou seja,  $F=f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4$ . Se o valor de F for  $F=0.485$  então o número de lâmpadas será:

$$= \frac{450 \times 57,75}{3.350 \times 0.485} \cong 16$$

Que eficiência luminosa, não? 50% do fluxo luminoso das lâmpadas são para atender o nível de iluminamento exigido; os outros 50% são perdidos. Isso sem falar no gasto em energia elétrica. Portanto, pense, pesquise e analise o que se pode fazer para executar um bom projeto do ponto de vista técnico-econômico.

Nesse ponto você começa a perceber a influência que as dimensões dos espaços (cavidades) entre os planos *teto-luminárias* e *plano de trabalho-piso* têm no fluxo refletido. Esses novos valores corrigidos para as refletâncias base serão chamados de **refletância efetiva da cavidade do teto** ( $\rho_c$ ) e **refletância efetiva da cavidade do piso** ( $\rho_p$ ). Para o espaço (*cavidade*) do recinto, ou seja, entre o plano das luminárias e o plano de trabalho não haverá necessidade de corrigir a refletância base da parede. O coeficiente a ser usado nas tabelas é aquele correspondente às próprias refletâncias típicas obtidas em função das cores e materiais da parede.

## Fluxo Luminoso

Normalmente o projeto de iluminação de interiores utiliza o Método do Fluxo Luminoso onde procura-se determinar o fluxo luminoso total emitido pelas fontes e necessário para se atingir um determinado nível de iluminância (lux) média no plano de trabalho e definido por:

$$E(\text{LUX}) = \frac{\phi(\text{lumen})}{A(\text{m}^2)} \quad \text{Eq.01}$$

$\phi$  é o fluxo onde luminoso (lúmen) que incide sobre a superfície de trabalho  $A(\text{m}^2)$ .

Mas nem todo o fluxo luminoso produzido pela lâmpada atinge o plano de trabalho devido às perdas na luminária e nas superfícies (parede, teto, piso) do recinto a ser iluminado. Para levar em conta essas perdas, a equação eq.1 acima deve ser multiplicada por um fator chamado de Fator de Utilização (FU) e seus valores são normalmente fornecidos nos catálogos dos fabricantes.



O Fator de Utilização leva em conta os seguintes aspectos:

Tipo de luminária – a forma (desenho) da luminária afeta o FU;

**Refletância das superfícies do recinto** – quanto maior a refletância do teto, parede e piso do recinto maior será a porcentagem dos lumens da lâmpada que atinge a área de trabalho. Também, quanto mais limpa for a superfície maior será a refletância;

**Altura de montagem das luminárias** – quanto maior a altura de montagem maior será a correspondente área da parede que irá absorver a luz proveniente da luminária;

**Área do recinto** – quanto maior a área do recinto maior será a quantidade necessária de luminárias. Contudo, a luz proveniente de uma luminária se sobrepõe às das outras luminárias e conseqüentemente aumenta o nível total de luz. Além disso, menor será a superfície de parede por unidade de área que absorverá luz;

**Dimensões do recinto** – as dimensões do recinto afeta diretamente o FU.

A consideração de FU na eq.1 irá determinar os lumens produzidos pelas lâmpadas no interior das luminárias, para um sistema novo de iluminação ao ser energizado. Por esta razão será necessário prever um nível de iluminação extra, acima daquele calculado, para compensar as diversas outras perdas e assegurar que o nível mínimo de iluminamento especificado para o projeto seja atingido após um determinado período de tempo.

Esta depreciação, ou redução lenta da luz, é definida como Fator de Perda de Luz (LLF), e é a razão da iluminância quando atinge seu menor nível, e antes de qualquer ação corretiva, pelo nível inicial da iluminância. Então, LLF e outros fatores são também adicionados na eq.1 para aumentar o grau de exatidão do projeto desde seu início de operação e no planejamento de um programa de manutenção adequado.

Existem vários fatores que influenciam na depreciação do *fluxo luminoso médio total* de modo que esses fatores ( $F_d$ ) multiplicados entre si fornecem o Fator de Perda de Luz ( $F_p$ ) da instalação, ou seja,  $F_p = F_{d1} \times F_{d2} \times F_{d3} \times \dots$

**Dentre esses fatores de depreciação podemos citar:**  
temperatura ambiente, que irá influenciar no fluxo luminoso produzido pela lâmpadas de descarga; qualidade do equipamento auxiliar das lâmpadas; diminuição da refletância das luminárias devido ao seu envelhecimento; diminuição da refletância das superfícies (parede, teto, piso) do recinto devido ao acúmulo de poeira; lâmpadas queimadas; acúmulo de pó sobre as luminárias; diminuição do fluxo luminoso da lâmpada durante sua vida útil, etc.

Dos itens acima devemos considerar apenas os mais significativos para cada caso particular de instalação:

Depreciação do recinto com a sujeira (RSDD) – esse fator leva em conta a poeira e sujeira que se acumula em todas as superfícies do recinto. No **Anexo A**

reproduzimos a tabela do IES Handbook (1) em que lista vários fatores de depreciação com a sujeira (RSDD) para luminária do tipo direta, semi-direta, indireta, semi-indireta. Normalmente, com a limpeza e pintura feitas periodicamente irão diminuir o impacto causado pelo RSDD.

**Depreciação da luminária com a poeira (LDD)** – este fator leva em conta a contaminação pela poeira, óleo, fumaça e outras sujeiras nas superfícies, nas lentes e lâmpadas da luminária os quais causam redução em seu nível de luz produzido. Embora alguns fabricantes forneçam esses fatores para seus produtos, o LDD é um fator difícil de ser determinado experimentalmente e no **Anexo B** reproduzimos as tabelas recomendadas pela IES Handbook.

A primeira tabela B.1 determina a categoria da luminária e tem como base a localização e abertura pelos quais a poeira poderia entrar. A segunda tabela B.2 avalia o grau de sujeira (limpo, muito limpo, etc). Por fim, os gráficos da última tabela B.3 determina o Fator de Depreciação da Luminária com a poeira, levando em conta o tempo decorrido entre as manutenções de limpeza.



**Fator de depreciação da lâmpada (LDD)** – com o envelhecimento da lâmpada, a quantidade de luz produzida diminui continuamente. Este fator representa a fração dos lumens iniciais produzidos durante o tempo de vida da lâmpada. Para utilizar um valor adequado do LDD deve-se fazer com que o programa de manutenção coincida com a época de reposição das lâmpadas. Portanto, atenção ao obter esse dado do fabricante e identificar se o fluxo fornecido é para uma lâmpada nova ou trata-se do fluxo médio mantido durante sua vida. Se o valor fornecido refere-se à de uma lâmpada nova então será necessário utilizar o fator de depreciação. Caso contrário não será necessário fazer essa correção.

**Queima de lâmpadas** – projetistas de iluminação geralmente supõem que uma lâmpada queimada será imediatamente substituída. Contudo sabemos que não é isso que ocorre e num dado instante de tempo um determinado número de lâmpadas encontra-se queimadas. Por exemplo, se num tempo qualquer 5% das lâmpadas estão queimadas então esse fator de perda de luz seria 0.95. Lembre-se que o tempo de vida 100% é definido quando 50% de uma grande amostra de lâmpadas estão queimadas.

A determinação do LDD a ser usado num projeto é muito importante, mesmo para áreas limpas como as de um moderno escritório. A utilização de lâmpadas fluorescentes de alta performance, cuja vida chega a atingir 30.000 horas, pode ocasionar atrasos ou mesmo esquecimento na limpeza das luminárias. E com o tempo, o acúmulo de poeira e óleo nas superfícies da luminária podem reduzir significativamente os lumens emitidos, mesmo nesses ambientes relativamente limpos.

Por isso é conveniente que no estágio de projeto se pesquise e compare os diversos modelos existentes pois os diversos tipos de projeto de luminárias, tipos de lâmpadas e acabamento dos refletores influem no modo em que, com o passar do tempo, a sujeira adere à luminária.

Estudos feitos pela National Association of Lighting Management Companies (NALMCO) concluíram que os valores dos fatores relacionados com a sujeira e recomendado pela IESNA estão superestimados para uso em ambientes limpos como escolas e escritórios.

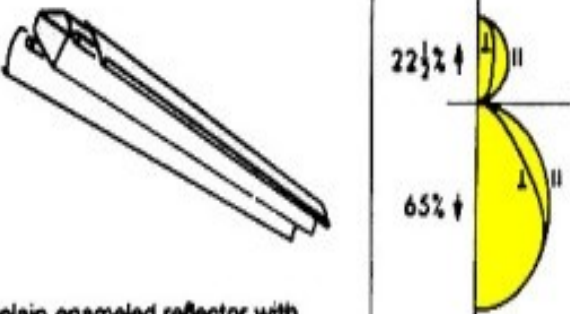
Para algumas situações e um período entre manutenções de 18 meses o NALMCO indica um LDD de 0.92 verso os 0.84 – 0.85 recomendados pelo IESNA. Para um período de 36 meses o NALMCO indica 0.89 verso os 0.75 – 0.80 da IESNA. Segundo a Lighting Control Association (3), os resultados dos estudos acima foram incorporados ao IESNA Recommended Practice on Maintenance e serão publicados no IES Handbook.

# O conceito de Cavidade Zonal

Existem dois métodos tradicionais de cálculo para cavidades zonais: o primeiro método, que é aquele abordado neste artigo, é o preconizado pelo Illuminating Engineering Society/IEC/CIE; o segundo método é o preconizado pela British Zonal Cavities – BZC.

Os dois sistemas são incompatíveis entre si e cada um deles apresenta formas diferentes para calcular os fatores de utilização das cavidades.

No método da IES/IEC/CIE a tabela do Fator de Utilização começa em 0 (zero) e vai até 10 (dez), conforme fig.1.

Typical Luminaire	Typical Intensity Distribution and Per Cent Lamp Lumens		PCC →			70			50			30			10			0			WDRC	PCC →		
	Maint. Cat.	SC	RCR ↓	Coefficients of Utilization for 20 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (ρ <sub>FC</sub> = 20)																		RCR ↓		
				PW →	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0			PW →	
 <p>Porcelain-enameled reflector with 35° CW shielding</p>	II	1.3	0	.99	.99	.99	.94	.94	.94	.85	.85	.85	.77	.77	.77	.69	.69	.69	.65					
			1	.87	.84	.81	.83	.80	.77	.75	.73	.71	.68	.66	.65	.62	.60	.59	.56	.236	1			
			2	.77	.71	.67	.73	.68	.64	.67	.63	.60	.60	.58	.55	.55	.53	.51	.48	.220	2			
			3	.68	.62	.58	.65	.59	.54	.59	.55	.51	.54	.50	.47	.49	.46	.44	.41	.203	3			
			4	.61	.54	.48	.58	.52	.47	.53	.48	.44	.48	.44	.41	.44	.41	.38	.35	.186	4			
			5	.54	.47	.42	.52	.46	.41	.48	.42	.38	.44	.39	.36	.40	.36	.33	.31	.170	5			
			6	.49	.42	.37	.47	.40	.36	.43	.38	.34	.40	.35	.32	.36	.33	.30	.27	.157	6			
			7	.45	.37	.32	.43	.36	.32	.39	.34	.30	.36	.32	.28	.33	.29	.26	.24	.145	7			
			8	.41	.34	.29	.39	.33	.28	.36	.31	.27	.33	.29	.25	.31	.27	.24	.22	.135	8			
			9	.37	.31	.26	.36	.30	.25	.33	.28	.24	.31	.26	.23	.28	.24	.22	.20	.126	9			
			10	.34	.28	.24	.33	.27	.23	.31	.25	.22	.28	.24	.21	.26	.22	.20	.18	.118	10			

No método BZC, começa em 0.6 e vai até 5, conforme mostrado na fig.2. A mistura dos métodos de cálculo pode ser fatal.

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZAÇÃO (X 0.01)								
0.60	38	32	28	37	31	27	31	27	26
0.80	45	39	35	44	39	35	38	35	33
1.00	52	46	41	50	45	41	44	41	39
1.25	57	52	47	56	51	47	50	47	45
1.50	61	56	52	60	56	52	55	51	50
2.00	68	64	60	66	62	59	61	59	57
2.50	72	68	65	70	67	64	66	63	61
3.00	74	71	69	73	70	68	69	67	65
4.00	78	75	73	76	74	72	73	71	69
5.00	80	78	76	78	76	75	75	73	71

Figura 2

Observe nas duas figuras acima que para o método IES os piores comportamentos da luminária são verificados nos valores mais altos de K (índice do recinto). Já no sistema BZC é exatamente o contrário, ou seja, nos valores mais altos de K verificam-se os melhores comportamentos da luminária dentro do local.



**Observe nas duas figuras anteriores** que para o método IES os piores comportamentos da luminária são verificados nos valores mais altos de K (índice do recinto). Já no sistema BZC é exatamente o contrário, ou seja, nos valores mais altos de K verificam-se os melhores comportamentos da luminária dentro do local.

**Esse erro vem sendo cometido** até por profissionais de iluminação, que não possuem aprimorados conhecimentos sobre o assunto e, portanto, não conseguem perceber o erro, nem a diferença. Deve-se, então, tomar cuidado nas “fórmulas mágicas” dos vários “manuais de iluminação” existentes e que não esclarecem esse aspecto.

**O método das cavidades zonais**, também chamado de Método dos Lumens é o método usualmente aceito para cálculos do nível médio de iluminação para áreas internas, a menos que a distribuição das luminárias seja bastante assimétrica. Este método leva em consideração o efeito que as refletâncias internas têm no nível de iluminação.

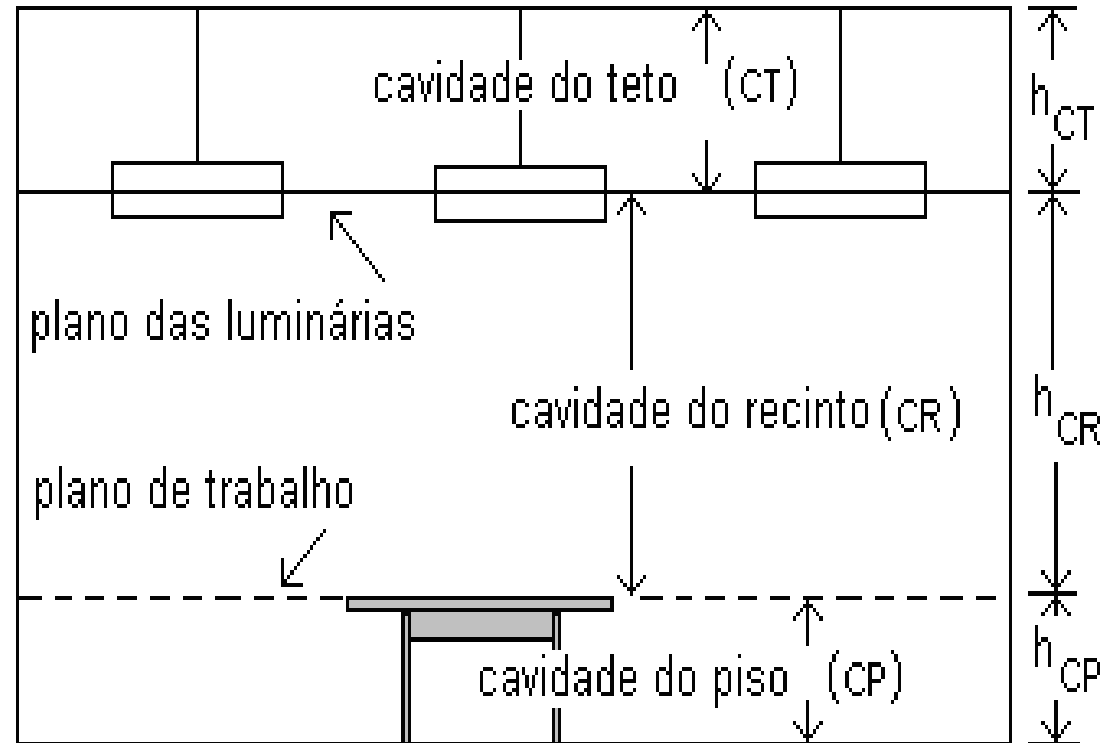
O cálculo do iluminamento obtido por esse método é um valor médio que será representativo somente se as luminárias forem adequadamente espaçadas para se conseguir uma iluminação uniforme.

**O conceito do método das cavidades zonais** baseia-se na divisão do recinto (fig.3) a ser iluminado em três regiões ou cavidades:

**cavidade do teto:** que é a cavidade entre o teto e as luminárias ( $C_T$ );

**cavidade do recinto:** que fica entre o plano das luminárias e o plano de trabalho ( $C_R$ );

**cavidade do piso:** que é a existente abaixo do plano de trabalho ( $C_P$ )



**Figura 3**

Quando as luminárias estiverem montadas no teto a cavidade do teto será o próprio teto. Quando se deseja calcular a iluminância ao nível do chão, a cavidade do piso é o próprio chão.

Uma vez compreendido esse conceito, é possível calcular relações numéricas (índices das cavidades) entre as cavidades, as quais serão usadas para determinar a **refletância efetiva** das cavidades do teto e piso e então achar o Fator de Utilização. Convém lembrar que considera-se Fator de Utilização o grau de reflexão, isto é, a parte do fluxo luminoso que retorna ao ambiente e atinge o plano de trabalho.

Neste caso leva-se em consideração as cores e materiais do recinto, o índice das cavidades e o projeto (desenho) das luminárias. Este fator é normalmente obtido dos catálogos de luminárias dos fabricantes e consiste no produto da eficiência do recinto (fluxo luminoso devido à reflexão do recinto) pela eficiência da luminária (fluxo luminoso produzido pela luminária). Ele indica, portanto, a eficiência luminosa do conjunto lâmpada-luminária-recinto.

# Índice das Cavidades

Com base nas dimensões do recinto e das cavidades zonais determina-se os respectivos índices das cavidades usando-se a fórmula:

Equação 2  $\text{índice da cavidade} = \frac{5h(L+D)}{LD}$

onde com h:

$h=h_{CT}$  para o índice da cavidade do teto ( $I_{CT}$ );

$h=h_{CR}$  para o índice da cavidade do recinto ( $I_{CR}$ )

$h=h_{CP}$  para o índice da cavidade do piso ( $I_{CP}$ )

L= comprimento do recinto (m); D= largura do recinto (m).

D= largura do recinto (m).

## Índice das Cavidades

No caso de recinto com forma irregular a fórmula do índice de cavidade deve ser mudada para

$$\text{índice do recinto} = \frac{2.5 \times \text{altura da cavidade} \times \text{perímetro da cavidade}}{\text{área da base da cavidade}}$$

A refletância média ponderada para a cavidade do teto é baseada nas refletâncias da parede e teto dessa zona e é chamada de **refletância efetiva do teto** ( $\rho_c$ ). Da mesma forma, para a cavidade do piso temos a **refletância efetiva do piso** ( $\rho_p$ ).



**A zona entre o plano de trabalho e o plano da luminária** é a zona relacionada com a respectiva parede cuja quantidade de luz refletida varia significativamente dependendo das dimensões desse espaço.

Por exemplo, as paredes de um espaço alto e estreito absorvem mais luz que outro mais baixo e largo. O primeiro é também mais sensível para as características da cor e material (reflexão) das paredes.

A tabela 1 abaixo mostra os coeficientes de reflexão  $\rho$  (%).de alguns materiais e cores:

<b>Materiais</b>	<b>%</b>	<b>Cores</b>	<b>%</b>
Rocha	60	Branco	70..80
Tijolos	5..25	Creme claro	70..80
Cimento	15..40	Amarelo claro	55..65
Madeira clara	40	Rosa	45..50
Esmalte branco	65..75	Verde claro	45..50
Vidro transparente	6..8	Azul celeste	40..45
Madeira aglomerada	50..60	Cinza claro	40..45
Azulejos brancos	60..75	Bege	25..35
Madeira escura	15..20	Amarelo escuro	25..35
Gesso	80	Marrom claro	25..35
Espelho de vidro	80..90	Verde oliva	25..35
Alumínio polido	65..85	Laranja	20..25
Estuque novo (branco)	70..80	Vermelho	20..35
Concreto novo	40..50	Cinza médio	20..35
Ferro esmaltado	60..80	Verde escuro	10..15
Asfalto	4..10	Azul escuro	10..15
		Vermelho escuro	10..15
		Cinza escuro	10..15
		Azul marinho	5..10
		Preto	5..10

**Tabela 1 – Coeficiente de reflexão de alguns materiais e cores**

O trabalho agora consiste em obter as **refletâncias efetivas** do teto e piso com base nos coeficientes de reflexão da tabela acima. Isto é feito através da tabela C.1 do **Anexo C** onde, com base no coeficiente de reflexão (%) do piso ou teto, no coeficiente de reflexão da parede e nos índices da cavidade do piso ou teto obtém-se a refletância efetiva do piso ( $\rho_p$ ) ou teto ( $\rho_c$ ).

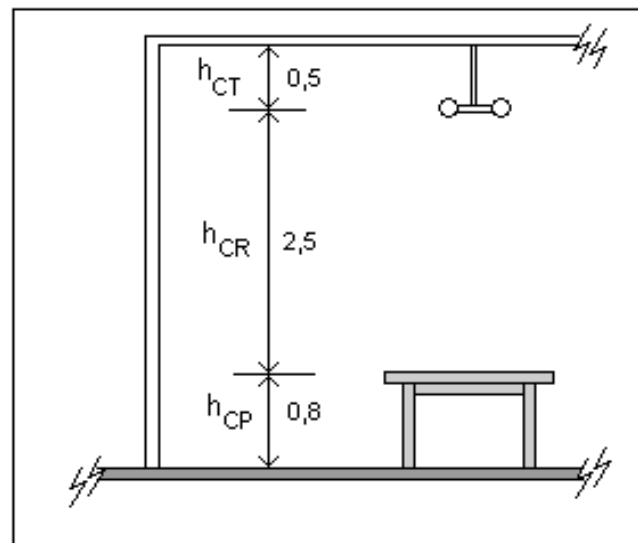
Exemplo: calcular as refletâncias efetivas do teto ou piso, dados:

cor do teto: branca ( $\rho_c = 80\%$ )

cor do piso: cinza médio ( $\rho_p = 20\%$ )

cor da parede: azul claro ( $\rho_w = 50\%$ )

dimensões do recinto:  $L = 10,5$  m;  $D = 5,5$  m;



Solução:

$$\text{índice da cavidade do teto } (I_{CT}) = \frac{5 \times 0.5 \times (10.5 + 5.5)}{10.5 \times 5.5} \cong 0.7$$

$$\text{índice da cavidade do piso } (I_{CP}) = \frac{5 \times 0.8 \times (10.5 + 5.5)}{10.5 \times 5.5} \cong 1.1$$

$$\text{índice da cavidade do recinto } (I_{CR}) = \frac{5 \times 2.5 \times (10.5 + 5.5)}{10.5 \times 5.5} \cong 3.5$$

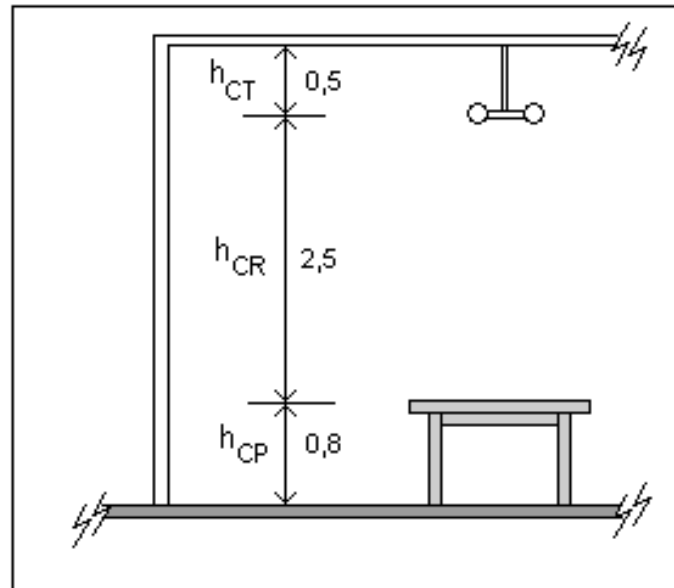
Entrando na tabela C.1 com  $\rho_c = 80\%$ ,  $\rho_w = 50\%$  e interpolando para  $I_{CT} = 0.7$  obtém-se  $\left( \frac{69 + 71}{2} = 70 \right)$  ou refletância efetiva do teto  $\rho_{ec} = 70\%$ .

Com piso  $\rho_p = 20\%$  e parede  $\rho_w = 50\%$  e interpolando para  $I_{CP} = 1.1$  obtém-se refletância efetiva do piso  $\rho_{ep} = 19\%$ .

E com base nos valores  $\rho_{ep} = 19\%$  ,  $\rho_{ec} = 70\%$  ,  $\rho_w = 50\%$ ,  $I_{CR} = 3.5$  consultar a tabela do fabricante para obter o Fator de Utilização (FU) da luminária especificada para o projeto de iluminação. Caso o fabricante não disponha do catálogo com os valores de FU, recomenda-se selecionar um dos tipos encontrados na tabela D.1 do **Anexo D** que mais se aproxima da luminária em questão (amplie as figuras para uma melhor visualização).

Para o caso de tetos não-horizontais, como é o caso de muitos galpões industriais, deve-se corrigir o valor de  $\rho_c$  o qual será determinado pela fórmula:  $\rho_{ec} = (\rho_c A_a) / (A_s - \rho_c A_s + \rho_c A_a)$ , onde  $A_a$  é a projeção horizontal do teto e  $A_s$  é a área da superfície do teto.

**EXEMPLO** (exemplo retirado da referência bibliográfica 4)  
Projetar pelo Método das Cavidades Zonais a iluminação de uma sala com as seguintes características: comprimento 10,5m; largura 5,5m; altura do teto 3,8m; iluminância desejada 450 lux; teto: branco, paredes: cinza, piso: verde escuro. Iluminação com lâmpadas fluorescentes de 36W (4.000K) instaladas em luminárias calha simples com 2 lâmpadas e montadas a 0,5m do teto. O nível de limpeza do local é médio.



Solução:

- Dados básicos:  $E=450$  lux;  $S=10,50 \times 5,5=57,75$  m<sup>2</sup> ;  
teto branco  $\rho_{\text{teto}}=80\%$  (veja Tabela 1) paredes cinza:  $\rho_{\text{parede}}=50\%$  piso  
verde escuro:  $\rho_{\text{piso}}=20\%$
- Cálculo dos índices de cavidade (veja eq.2)

$$I_{CT} = \frac{5h_{CT}(L + D)}{LD} = \frac{5 \times 0.5 \times (10.5 + 5.5)}{10.5 \times 5.5} = 0.693$$

$$I_{CR} = \frac{5h_{CR}(L + D)}{LD} = \frac{5 \times 2.5 \times (10.5 + 5.5)}{10.5 \times 5.5} = 3.46$$

$$I_{CP} = \frac{5h_{CP}(L + D)}{LD} = \frac{5 \times 0.8 \times (10.5 + 5.5)}{10.5 \times 5.5} = 1.109$$

- Cálculo do Fator de Perda de Luz (LLF)

Calculemos o Fator de Depreciação da luminária com a poeira (LDD) dessa luminária (Tabela D.1 – fig 49) de Categoria I.

Tomando-se como *médio* o estado de limpeza da sala e supondo manutenção periódica a cada 30 meses, poderemos calcular a iluminância após 15 meses da inauguração. Trinta meses seria a vida média provável das lâmpadas fluorescentes funcionando 10 h por dia, durante 25 dias por mês.



Entrando com os valores 15 meses e local médio no gráfico da Categoria I da Tabela B.3 (amplie a figura para melhor visualização) obtemos **LLF=0.88**.

Da Tabela A.1 para 15 meses entre manutenções e atmosfera *média* temos: depreciação percentual pela sujeira=20%. Com esse valor e também  $I_{CR}=3.46$ , iluminação direta obtemos pela mesma Tabela A.1 o Fator Depreciação do recinto com a sujeira: **RSDD=0.95**

- Cálculo do Fator de Utilização (FU)

Sendo  $\rho_{\text{teto}}=80\%$  ,  $\rho_{\text{paredes}}=50\%$  e  $I_{\text{CT}}=0,693$  a Tabela C.1 (Effective Ceiling and Floor Reflectances) entrando com Refletância Base ( $\rho_{\text{teto}}$ ) =80%, Percent Wall Reflectance ( $\rho_{\text{paredes}}$ ) = 50% e Cavity Ratio ( $I_{\text{CT}}$ ) = 0.7 obtemos, por interpolação,  $\rho_{\text{CT}}=70\%$

Sendo  $\rho_{\text{pisso}}=20\%$  ,  $\rho_{\text{paredes}}=50\%$  e  $I_{\text{CP}}=1.109$  a Tabela C.1 (Effective Ceiling and Floor Reflectances) entrando com Refletância Base ( $\rho_{\text{pisso}}$ ) =20%, Percent Wall Reflectance ( $\rho_{\text{paredes}}$ ) = 50% e Cavity Ratio ( $I_{\text{CP}}$ ) = 1.1 obtemos, por interpolação,  $\rho_{\text{CP}}=19\%$  (usaremos  $\rho_{\text{CP}}=20\%$ )

Para cálculo de FU entramos na Tabela D.1 figura 49 com os valores  $\rho_{CT}=70\%$ ,  $\rho_{paredes}=50\%$  e  $I_{CR}=3.46$  e, por interpolação, obtemos **FU=0.64**

Notas:

- a) não é necessário corrigir FU pela Tabela C.1 (Correção da Refletância efetiva da cavidade do piso diferentes de 20%) pois  $\rho_{CP}=20\%$
  - b) na Tabela D.1  $\rho_{CC} = \rho_{CT}$  ,  $\rho_W = \rho_{parede}$  e  $\rho_{FC} = \rho_{CP}$
- Levando em conta os fatores de depreciação na eq.1 obtemos

$$\varphi = \frac{EA}{FU \times LLF \times RSDD} = \frac{450 \times 57.75}{0.64 \times 0.88 \times 0.95} = 48571 \text{ lm}$$

Usando lâmpadas fluorescentes de 3350 lm necessitaremos de:

$$\frac{48571}{3350} = 14.5 \text{ lâmpadas ou } 16 \text{ lâmpadas (8 luminárias com 2 lâmpadas)}$$

Observe na Tabela D.1 figura 49 um índice SC=1.2 ou 1.4 (dependendo da luminária). Esse índice representa a relação do espaçamento entre luminárias pela altura de instalação. Obedecendo essa relação iremos garantir uma boa distribuição do fluxo luminoso.

Sendo a altura de instalação (ao plano de trabalho) igual a 2.5m teremos que o espaçamento entre luminárias deve ser menor que  $1.2 \times 2.5 = 3\text{m}$ .

Sendo a altura de instalação (ao plano de trabalho) igual a 2.5m teremos que o espaçamento entre luminárias deve ser menor que  $1.2 \times 2.5 = 3\text{m}$ .

Nota: você pode usar o programa online (<http://daybrite.com/lightCALC/>) para cálculo de iluminação para qualquer luminária simplesmente usando o artifício de preencher o fator LLF do programa por um valor tal que quando multiplicado pelo FU (ou CU) do programa, dê o mesmo valor que o produto do LLF e FU que desejamos.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1) Illumination Engineering Society (IES) Handbook – 1984
- 2) Knisley, Joe - Designing Lighting Systems for Use in a Dirty Environment -2004  
(paper)
- 3) Manual Luminotécnico Prático – OSRAM
- 4) Moreira, Vinicius de Araújo – Iluminação Elétrica – Ed. Edgard Blücher 1999
- 5) Schiler, Marc - Simplified Design of Building Lighting