



Figura 30 - Ângulo de abertura FLOOD 38°



Figura 31 - Ângulo de abertura SPOT 10°

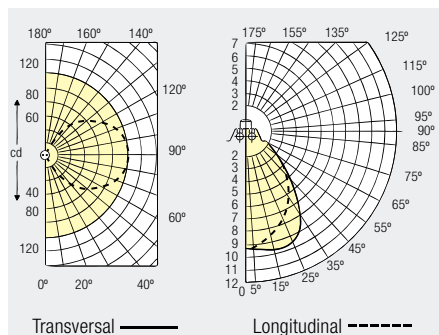


Figura 32: Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B).

ângulos em que ela é direcionada num plano (fig. 32).
Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente são referidas a 1000 lm. Nesse caso, é necessário multiplicar-se o valor encontrado na CDL pelo Fluxo Luminoso das lâmpadas em questão e dividir o resultado por 1000 lm.

4.8 Luminância

Símbolo: L

Unidade: cd/m²

Das grandezas mencionadas, até então, 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 (fig. 33).

É a Intensidade Luminosa que emana de uma superfície, pela sua superfície aparente (fig. 34).

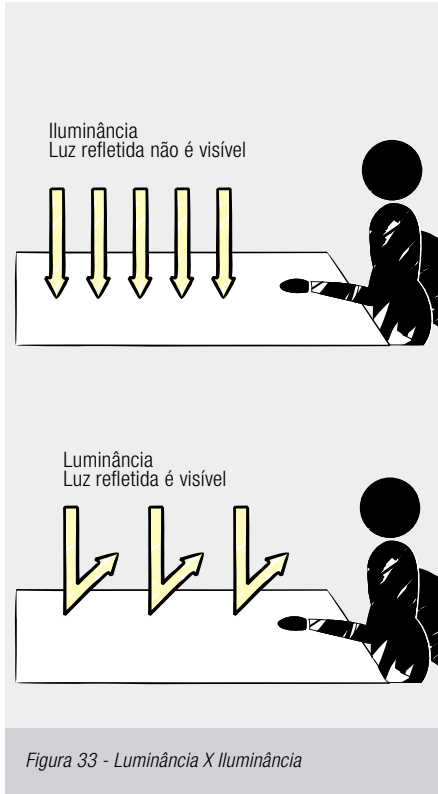
A equação que permite sua determinação é:

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

onde

L = Luminância, em cd/m²

I = Intensidade Luminosa, em cd

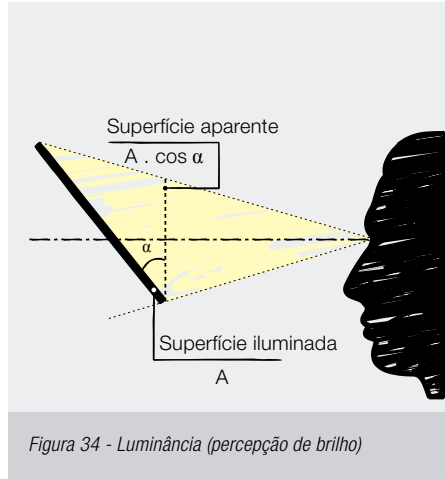


A = área projetada, em m^2
 α = ângulo considerado, em graus

Como é difícil medir-se a Intensidade Luminosa 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
 ρ = Refletância ou Coeficiente de Reflexão
 E = Iluminância sobre essa superfície

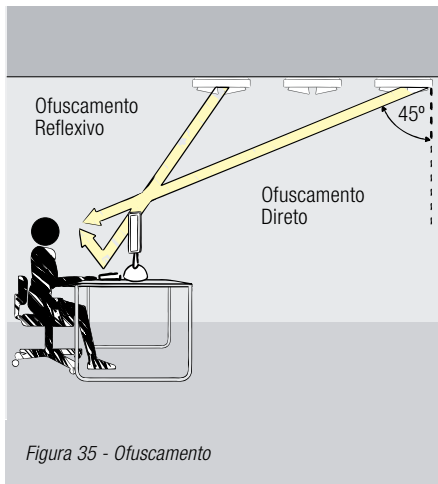


Como os objetos refletem a luz diferentemente uns dos outros, fica explicado porque a mesma Iluminância pode dar origem a Luminâncias diferentes. Vale lembrar que o Coeficiente de Reflexão é a relação entre o Fluxo Luminoso refletido e o Fluxo Luminoso incidente em uma superfície. Esse coeficiente é geralmente dado em tabelas, cujos valores são em função das cores e dos materiais utilizadas (exemplos no anexo 3).

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 incô-



moda a partir de 200 cd/m², valores acima deste não devem ultrapassar o ângulo de 45°, como indicado na fig. 35.

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

Proporção Harmônica entre Luminâncias

Acentuadas diferenças entre as Luminâncias de diferentes planos causam fadiga visual, devido ao excessivo trabalho de acomodação dos olhos, 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 não seja inferior a 1/3 da do objeto observado. (fig. 36)



Efeitos Luz e Sombra

Deve-se tomar cuidado no direcionamento do foco de uma luminária, para evitar que essa crie sombras incômodas, 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.

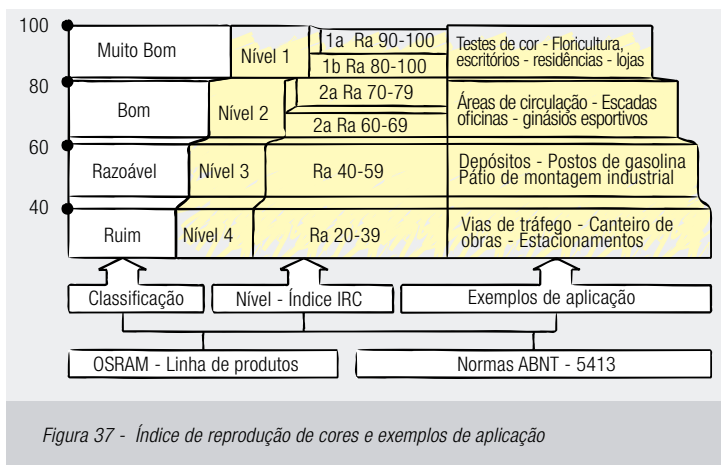
4.9 Índice de reprodução de cores

Símbolo: IRC ou Ra

Unidade: %

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, a Reprodução de Cores, e de sua escala qualitativa, o Índice de Reprodução de Cores (IRC ou RA). O IRC é estabelecido em fun-

04 | CONCEITOS BÁSICOS



ção da luz natural que tem reprodução fidedigna, ou seja, 100%. No caso das lâmpadas, o IRC é estabelecido entre 0 e 100, comparando-se a sua propriedade de reprodução de cor à luz natural (do sol).

Portanto, quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão, menor é seu IRC. Com isso, explica-se o fato de lâmpadas de mesma Temperatura de Cor possuírem Índice de Reprodução de Cores diferentes (figs. 37 e 38).

4.9.1 Espectro de Radiação Visível

Como já mencionamos nos ítems 4.1 e 4.2, luz é uma faixa de radiação eletromagnética, com comprimento de onda entre 380 a 780 nm (nanômetros), ou seja, da cor ultravioleta à vermelha, passando pelo azul, verde, amarelo e roxo. As cores azul, vermelho e verde, quando somadas em quantias iguais, definem o aspecto da

luz branca. Espectros contínuos ou descontínuos resultam em fonte de luz com presença de comprimentos de ondas de cores distintas. Cada fonte de luz tem, portanto, um espectro de radiação próprio que lhe confere características e qualidades específicas. 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 distribuição equilibrada das ondas constituintes do seu espectro. Ao lado, apresentam-se alguns espectros de lâmpadas (figs. 39 a 43).

4.10 Temperatura de cor

Símbolo: T

Unidade: K (Kelvin)

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 parâme-



Figura 38 - IRC

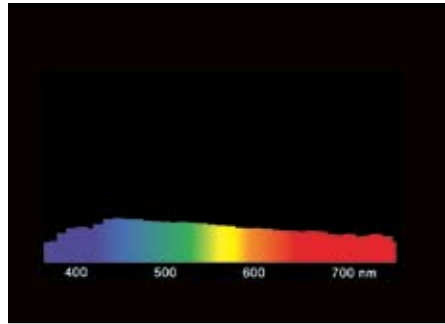


Figura 39 - Espectro da luz natural

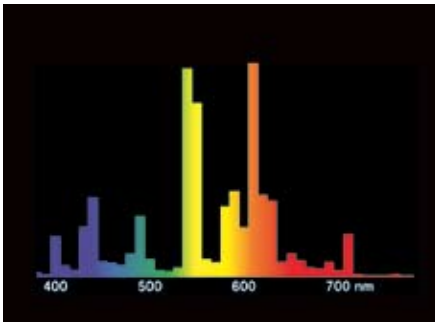


Figura 40 - Espectro das lâmpadas fluorescentes LUMI-LUX® 830.

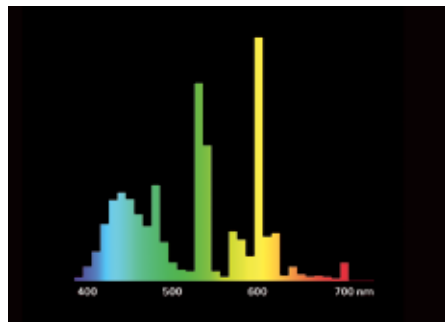


Figura 41 - Espectro das lâmpadas fluorescentes LUMI-LUX® 860.

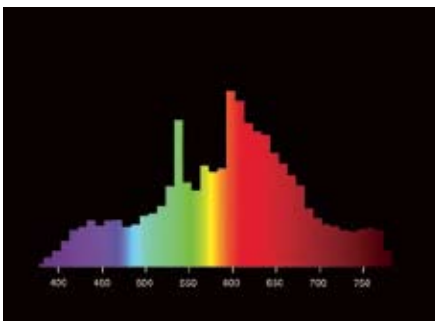


Figura 42 - Espectro das lâmpadas POWERSTAR® HCI® 930.

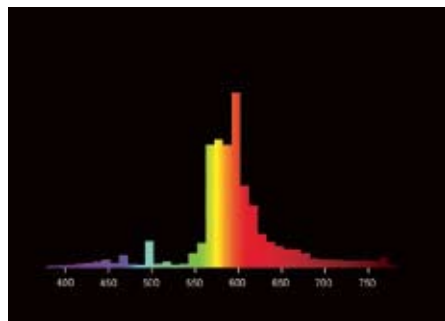


Figura 43 - Espectro das lâmpadas de sódio NAV®

04 | CONCEITOS BÁSICOS

tro, 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 6500K). 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. Convém ressaltar que, do ponto de vista

psicológico, quando dizemos que um sistema de iluminação apresenta luz “quente” não significa que a luz apresenta uma maior temperatura de cor, mas sim que a luz apresenta uma tonalidade mais amarelada. Um exemplo deste tipo de iluminação é a utilizada em salas de estar, quartos ou locais onde se deseja tornar um ambiente mais aconchegante. Da mesma forma, quanto mais alta for a temperatura de cor, mais “fria” será a luz (figs. 44 e 45). Um exemplo deste tipo de iluminação é a utilizada em escritórios, cozinhas ou locais em que se deseja estimular ou realizar alguma atividade laborativa.

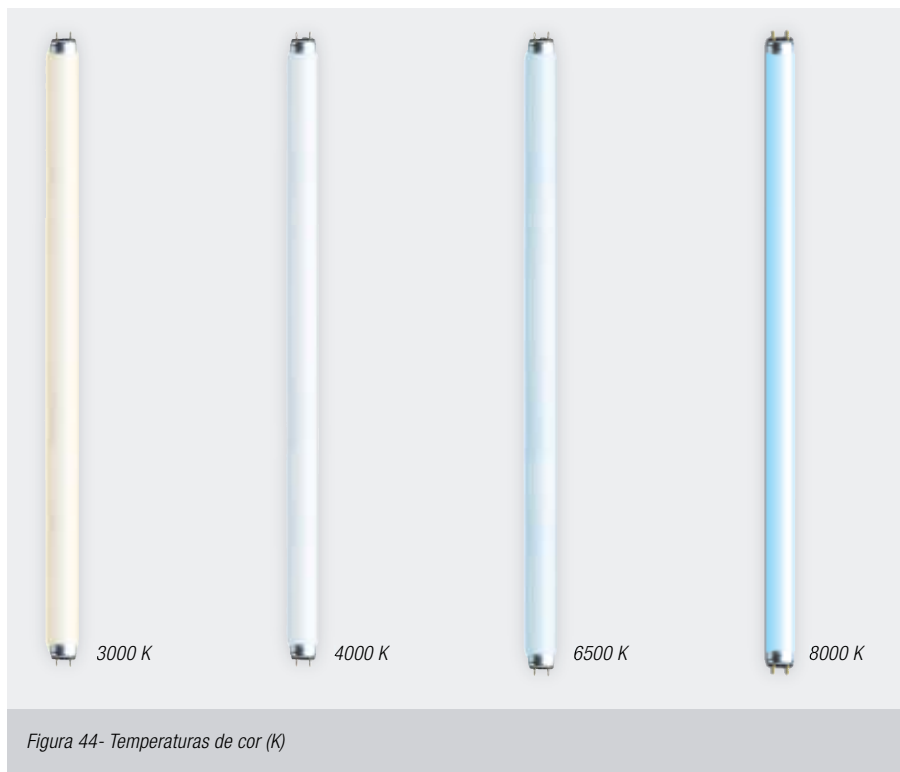


Figura 44- Temperaturas de cor (K)

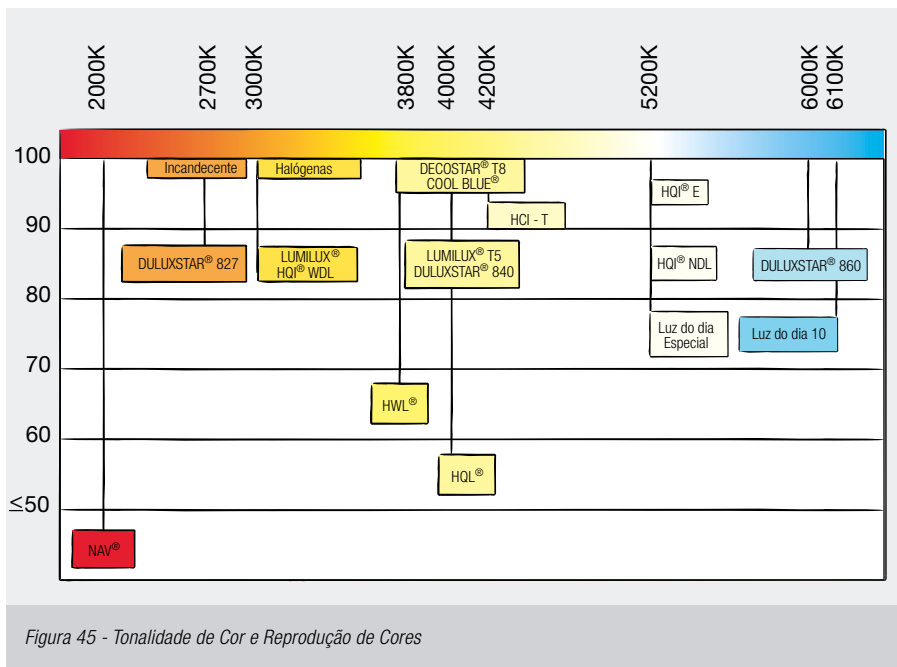
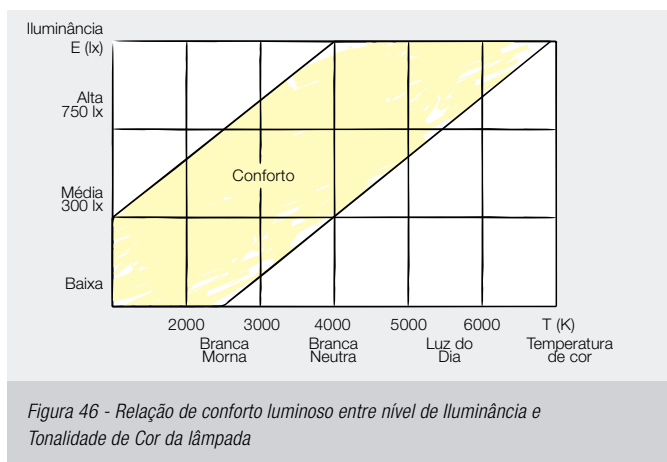


Figura 45 - Tonalidade de Cor e Reprodução de Cores

Esta característica é muito importante de ser observada na escolha de uma lâmpada, pois dependendo do tipo de ambiente há uma temperatura de cor mais adequada para esta aplicação. Os termos “luz quente” ou “luz fria”, portanto, referem-se a sensação visual de uma luz mais aconchegante ou mais branca, respectivamente. Um dos requisitos para o conforto vi-

sual é a utilização da iluminação para dar ao ambiente o aspecto desejado. Sensações de aconchego ou estímulo podem ser provocadas quando se combinam a Tonalidade de Cor correta da fonte de luz ao nível de Iluminância pretendido (fig. 46). 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.

4.11 Fator de fluxo luminoso

Símbolo: BF

Unidade: %

A maioria das lâmpadas de descarga opera em conjunto com reatores.

Neste caso, observamos que o fluxo luminoso total obtido depende do desempenho do reator. Este desempenho é chamado de fator de fluxo luminoso (Ballast Factor) e pode ser obtido de acordo com a equação:

$$BF = \frac{\text{fluxo luminoso obtido}}{\text{fluxo luminoso nominal}}$$

Os reatores normalmente apresentam BF de 0,9 ; 1,0 ou 1,1.

4.12 Vida útil, vida média e vida mediana

Vida útil: Está relacionada com a durabilidade em horas das lâmpadas e reatores. Portanto, é um parâmetro que deve ser levado em consideração do ponto de vista econômico. Alguns exemplos de vida útil de algumas famílias de lâmpadas:

- Incandescentes: 1.000 horas
- Halógenas: 2.000 a 5.000 horas
- Fluorescentes: 7.500 a 20.000 horas
- Lâmpadas Mistas: 10.000 horas
- Vapor de Sódio Alta Pressão: 28.000 a 32.000 horas

Vida Média é a medida aritmética do tempo de duração de cada lâmpada ensaiada.

Vida Mediana é o número de horas resultantes, onde 50% das lâmpadas ensaiadas ainda permanecem acesas.

5. Critérios de desempenho do ponto de vista do projeto de iluminação

Uma vez já vistos todos os conceitos lumínotécnicos ligados à fotometria (capítulo 4), este capítulo irá tratar sobre os critérios de desempenho do ponto de vista da iluminação, tanto para as atividades laborativas quanto para as não laborativas (de lazer, estar, religiosas).

Sete critérios de desempenho nos possibilitam avaliar se os objetivos foram cumpridos nessas duas situações:

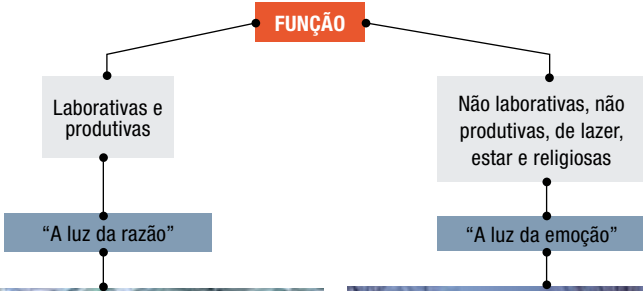
Um nível mínimo de iluminância (lux) fixado pela norma NBR 5413: para que possamos desempenhar bem uma tarefa qualquer do ponto de vista visual, devemos ter uma quantidade de luz satisfatória. Por exemplo, para as atividades que envolvem leitura e escrita, a norma estipula valores mínimos e máximos de 300 e 750 lux, respectivamente. No caso de atividades laborativas, estes níveis adquirem maior importância e maiores valores que no caso das não laborativas;

Uma boa distribuição destes níveis pelo local: quanto menor a uniformidade nesta distribuição, maiores os esforços de adaptação do olho em função de pontos mais e menos iluminados. Estes esforços levam a um cansaço visual e uma queda consequente da produtividade do trabalho. A boa uniformidade adquire maior importância no caso de atividades laborativas e perde o significado no caso das não laborativas;

A não presença de ofuscamentos dentro do campo visual: ofuscamento significa contrastes fortes e extremos de luminâncias e podem atrapalhar ou até inibir a realização de uma tarefa visual laborativa, realizada normalmente por longos períodos. No caso das não laborativas, os contrastes (e mesmo os deslumbramentos) são absolutamente fundamentais. São eles que criam os jogos de luz e de destaque. São, consequentemente, os grandes responsáveis pela ambientação do espaço. Contrastes de cores, de luminâncias e de claro e escuro;

Uma boa reprodução de cor (IRC): as fontes de luz artificial normalmente são comparadas com a luz natural em função

05 | CRITÉRIOS DE DESEMPENHO



- 1. Níveis mínimos de iluminação (fixados por norma técnica)
- 2. Boa distribuição da luz (boa uniformidade)
- 3. Não ofuscamento
- 4. Boa reprodução de cor
- 5. Aparência de cor da luz artificial mais neutra e fria
- 6. Maior controle na mutabilidade da luz
- 7. A economia de energia é um parâmetro importante do projeto



- 1. Apesar dos níveis mínimos de iluminação estarem definidos na norma, eles são muito baixos e têm pouca importância
- 2. Desuniformidade
- 3. Os contrastes excessivos são muitas vezes absolutamente desejados (relação claro-escuro, luz e sombra)
- 4. Boa reprodução de cor
- 5. Aparência quente de cor da luz artificial
- 6. Maior mutabilidade da luz
- 7. A economia de energia é sempre um parâmetro desejável, porém não prioritário para estas atividades (pois os níveis de iluminação são muito baixos)

de suas capacidades de reproduzir as cores. Em ambos os casos das atividades laborativas e não laborativas, a boa reprodução de cor é sempre desejável;

Uma temperatura de cor (K) adequada à função: as aparências de cor quente, neutra e fria das lâmpadas interferem diretamente na ambientação e no estímulo das atividades humanas. Para atividades laborativas, as cores neutras e frias são as mais recomendadas. Para as atividades não laborativas, as quentes são mais acolhedoras e nos levam ao relaxamento, intimidade e descanso.

Uma mutabilidade/flexibilidade da luz: a luz natural caracteriza-se muito por grande mutabilidade não somente em termos de quantidade, mas também de aparência, cor da luz e de sua projeção no espaço (em função das posições do sol). A tecnologia hoje disponível para o controle da luz artificial também propicia estes efeitos por meio dos sistemas de automação e controle, tanto do ponto de vista de sua intensidade quanto de distribuição, espectro e aparência de cor (veja informações sobre os sistemas OSRAM DALI);

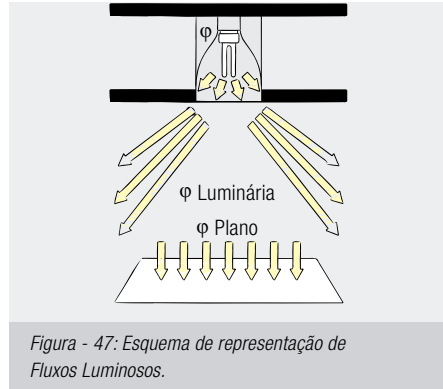
Uma economia da instalação: não só do ponto de vista de custos iniciais, mas também de manutenção e operação (conta de luz). Sistemas de iluminação - luminárias, lâmpadas e equipamentos complementares

adequados proporcionam uma maior racionalidade a todo o projeto e instalação. É sempre desejável, mas torna-se imprescindível no caso das atividades laborativas.

6. Modelos de avaliação em iluminação

O desenvolvimento de um projeto exige uma metodologia para se estabelecer uma seqüência lógica de cálculos. Esta metodologia pressupõe as seguintes etapas:

- a)** Levantamento das atividades do local, de suas dimensões físicas, de seu layout, dos materiais utilizados e das características da rede elétrica no local (dados iniciais do projeto);
- b)** Determinação dos objetivos da iluminação e dos efeitos que se pretende alcançar em função da(s) atividade(s) a ser(em) exercida(s) no ambiente (definidos principalmente em função dos sistemas de iluminação a serem adotados);
- c)** Escolha das lâmpadas (em função de todos os demais itens desta relação);
- d)** Escolha das luminárias (em função de todos os demais itens desta relação);
- e)** Análise dos Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação (relacionados, principalmente, à definição dos níveis de iluminância, das relações de luminância-contrastes, do IRC e da Temperatura de Cor);



- f)** Cálculo da iluminação geral (Método das Eficiências);
- g)** Cálculo de controle;
- h)** Distribuição da luminária;
- i)** Definição dos pontos de iluminação;
- j)** Cálculo de iluminação dirigida;
- k)** Avaliação do consumo energético;
- l)** Avaliação de custos;
- m)** Cálculo de rentabilidade.

Os itens B a E já foram tratados nesta publicação. Vejamos agora os itens de F a M em função, obviamente, das definições do item A. Passemos a tratar um pouco sobre a metodologia de avaliação quantitativa do projeto luminotécnico.

6.1 Método de Cálculo de Iluminação Geral - Método das Eficiências (também conhecido como Método dos Fluxos ou de Cavidades Zonais)

Seqüência de cálculo:

- a)** Escolha da lâmpada adequada
- b)** Escolha da luminária adequada

- c)** 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, sendo:

A = Área do local

n = quantidade de lâmpadas

ϕ = fluxo luminoso das lâmpadas em lúmens

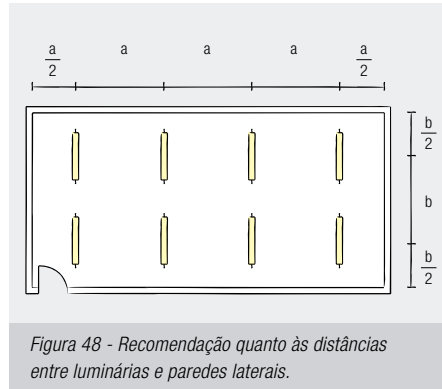
F_d = fator de depreciação ($F_d = 0,8$ para boa manutenção; $F_d = 0,6$ para manutenção crítica)

B_F = fator de fluxo luminoso do reator (considerar apenas quando utilizado com lâmpadas de descarga)

F_u = Fator de Utilização (que já considera o rendimento da luminária - η_l - e do recinto - η_r).

A quantidade de lâmpadas (n) é dada pela fórmula:

$$n = \frac{E_m \cdot A}{\phi \cdot F_u \cdot B_F \cdot F_d}$$



Para se saber o número de luminárias, basta dividir o número de lâmpadas pela quantidade delas por luminária.

Distribuição das Luminárias

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 ser preferencialmente, distribuídos de maneira uniforme 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 (fig. 48).

6.2 Cálculo de Iluminação Dirigida (Método Ponto a Ponto)

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 Iluminância Pontual, aplicando-se a fórmula:

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

onde:

I = Intensidade Luminosa lançada verticalmente sobre o ponto considerado (fig. 49).

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 obje-

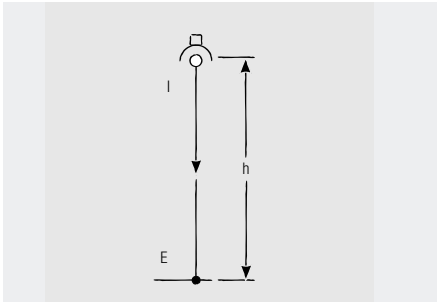


Figura 49 - Distância entre a fonte de luz e objeto a ser iluminado.

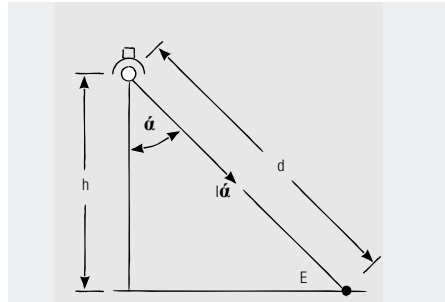


Figura 50 - Incidência de luz não perpendicular ao plano do objeto

to, reduz-se a Iluminância sobre o objeto a um quarto de seu valor anterior (fig. 28) Se a incidência da luz não for perpendicular ao plano do objeto, a fórmula passa a ser (fig. 50):

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

como

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

tem-se:

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

Assim, a Iluminância (E) em um ponto é o somatório de todas as Iluminâncias incidentes sobre esse ponto provenientes de diferentes pontos de luz, ou seja (fig. 51):

$$E = \frac{l^1}{h^2} + \Sigma \left(\frac{l\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \right)$$

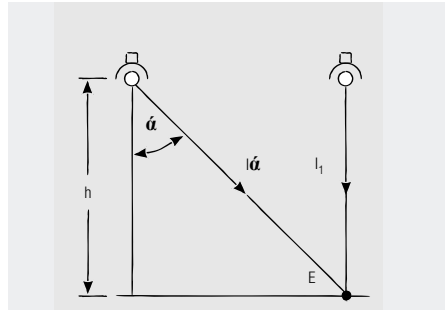


Figura 51 - Iluminância oriunda de diferentes pontos de luz

Dimensionamento do Grau de Abertura do Facho Luminoso

O grau de abertura do fecho luminoso é função do ângulo β dado por:

$$\text{tg}\beta = \frac{r}{h}$$

$$r = h \cdot \text{tg} \beta$$

$$D = 2 \cdot h \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}$$

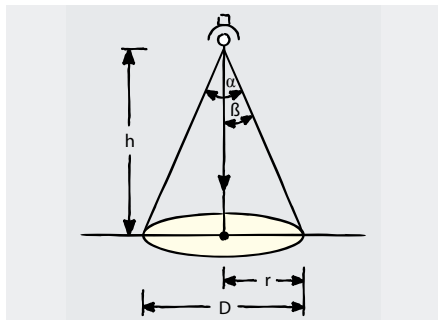


Figura 52 - Grandezas fotométricas

$$\beta = \frac{\alpha}{2} \text{ e } D = 2r$$

$$\text{tg}\beta = \frac{r}{h} \text{ e } \beta = \text{arc tg} \frac{r}{h}$$

$$\alpha = 2 \cdot \text{arc tg} \frac{r}{h}$$

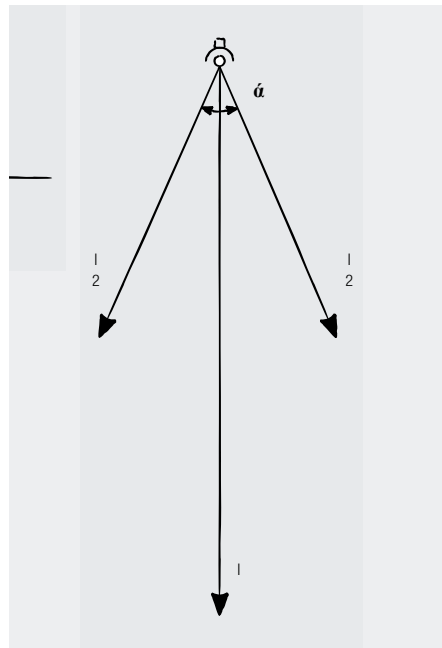


Figura. 53 - Conversão da abertura de fecho

O ângulo de radiação fornecido nos catálogos OSRAM é definido pelo limite de 50% da Intensidade Luminosa máxima (fig. 53).

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 m²” é um índice amplamente divulgado e, quando corretamente cal-

culado, pode ser o indicador de projetos luminotécnicos mais econômicos. Para tanto, calcula-se inicialmente a potência total instalada.

6.3 Avaliação de Custos

Um projeto luminotécnico somente é considerado completo quando se atenta para o cálculo de custos, que são:

6.3.1 Custos de Investimento

É a somatória 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 (fig. 54).

6.3.2 Custos Operacionais

É a somatória 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 (fig. 55).

O custo mensal de manutenção das lâmpadas engloba o custo de aquisição de novas unidades e o custo da mão de obra necessária para executar a manutenção. Esse custo resulta da soma das horas mensais de utilização das lâmpadas dividida pela sua vida útil. O quociente obtido 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 nas instalações de difícil acesso, como iluminação pública, quadras de esporte etc. O fator decisivo no custo operacional é o custo da 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.

6.3.3 Cálculo de Rentabilidade

A análise comparativa de dois sistemas de iluminação, 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 encontrado quando se calcula o quociente da diferença no investi-

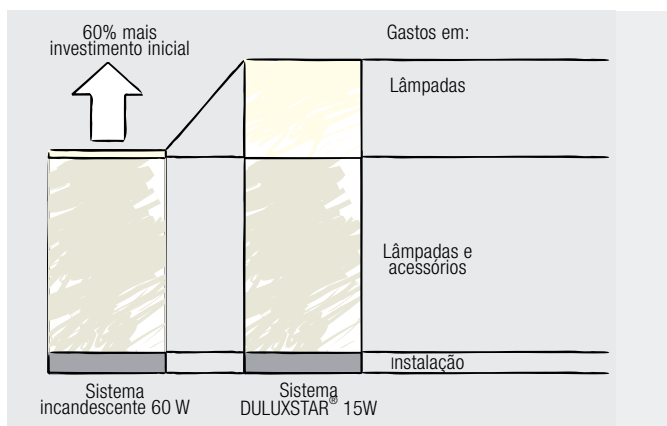


Figura 54 - Comparação entre custos de investimento.

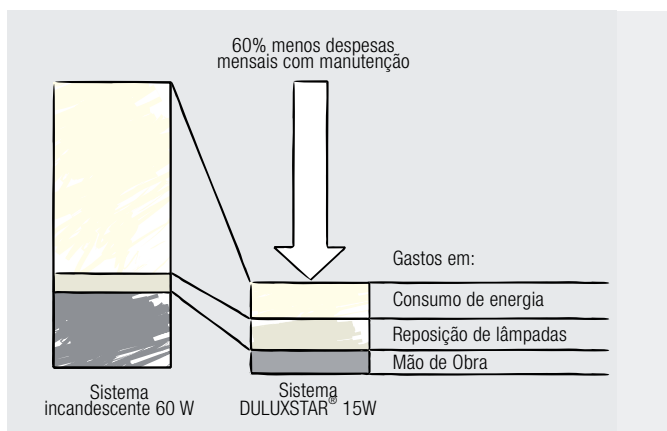
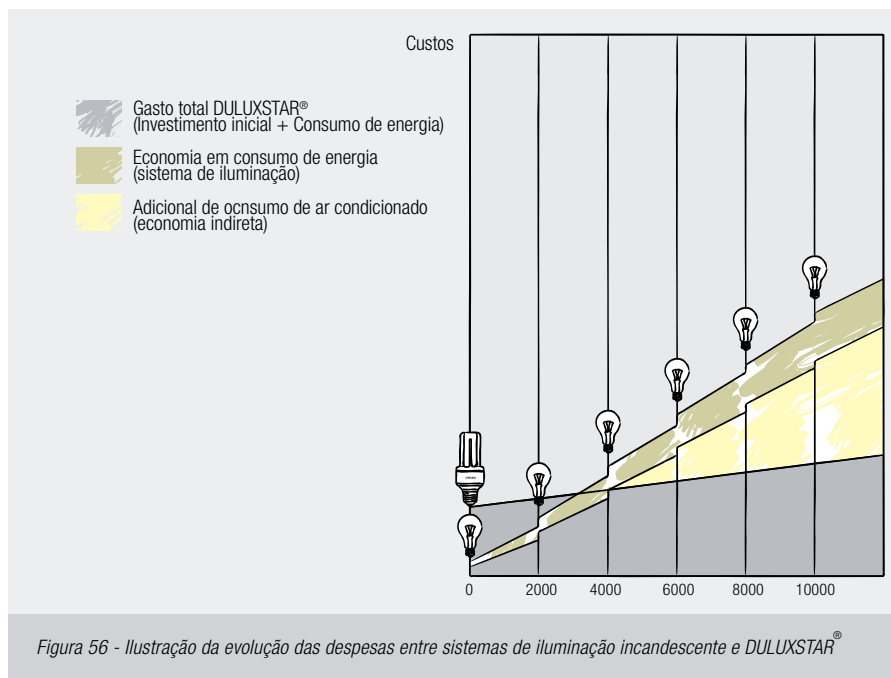


Figura 55 - Comparação entre custos operacionais.

mento pela diferença na manutenção. Feitos os cálculos, os valores podem ser alocados em gráficos, como no da figura 56, onde se visualiza a evolução das despesas no tempo. O ponto de interseção das linhas indica

o instante de equalização destes custos. Nos anexos, segue uma planilha do Cálculo de Rentabilidade, podendo ser utilizada como instrumento prático para se chegar aos custos acima descritos, assim como para análise comparativa en-



tre sistemas diferentes de iluminação.

6.4 Softwares

Como avaliar e medir as questões relativas à iluminação natural e artificial?

Todos os métodos de simulação e cálculo na área de iluminação natural e artificial baseiam-se em dois modelos clássicos de predição: método ponto a ponto e método dos fluxos, conforme apresentado anteriormente.

O método dos fluxos se aplica mais aos sistemas gerais. O método ponto a ponto satisfaz melhor as necessidades de dimensionamento dos sistemas localizados e locais. Apesar de práticos estes métodos podem ser muito trabalhosos quando se necessita avaliar

projetos de iluminação maiores e mais complexos. Para isso hoje em dia temos os softwares de iluminação.

Alguns cuidados devem ser tomados quando da utilização de programas computacionais na área de iluminação:

1º • Se for para a área de iluminação natural, verificar para quais tipos de céu que o programa possibilita os cálculos, lembrando que o céu brasileiro é predominantemente “parcialmente encoberto”;

2º • se for para a área de iluminação artificial um dos principais aspectos a serem verificados é a possibilidade deles apresentarem uma atualização



dos bancos de dados referentes às luminárias com compatibilidade entre distintos fornecedores. Softwares fechados, ou seja, que só usam luminárias de um único produtor podem ser em muitos casos extremamente limitados para satisfazer nossas necessidades práticas de cálculo.

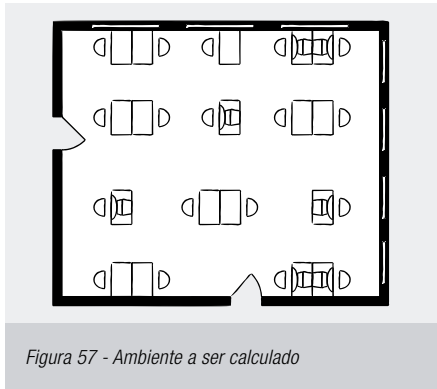
O número 7, de abril/maio de 2004, da revista Lume Arquitetura, pg.76, apresenta-se uma relação interessante dos principais softwares de iluminação, principalmente para a artificial, inclusive com endereços dos sites para download.

Os principais modelos na área de lumi-

notécnica são:

- 1 • RADIANCE : www.lbl.gov
- 2 • AGI32: www.agi32.com
- 3 • LUMEN DESIGN: www.lighttechnologies.com
- 4 • ECOTECH: www.squ1.com
- 5 • RELUX: www.relux.ch ou www.relux.biz
- 6 • DIALUX: www.dial.de
- 7 • SOFTLUX: www.itaim.com.br

Obs: os 4 primeiros são pagos. Os 3 últimos gratuitos.



7. Exemplos de aplicação

7.1 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 seqüência de cálculo a seguir, apresentada em forma de planilha.

A planilha completa se encontra no anexo 4 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 anterior.

Dados Básicos Pré-Cálculo:

a) Local

- Escritório de contabilidade

b) Atividades

- Administrativas (leitura, concentração)
- Uso de computadores

c) Objetivos da iluminação

- Proporcionar boas condições de trabalho
- Evitar reflexos na tela do computador/ conforto visual
- Evitar alto consumo de energia

d) Cabeçalho

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

A partir deste ponto começaremos a preencher a tabela do anexo 4 ilustrando o exemplo 1.

e) 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

Empresa:	Obra:
Recinto:	Atividade
Projetista:	Data:

Descrição do ambiente	01	Comprimento	a	m	10,00
	02	Largura	b	m	7,50
	03	Área	$A=a \cdot b$	m^2	75,00
	04	Pé-direito	H	m	3,00
	05	Altura do plano de trabalho	hpt	m	0,80
	06	Altura do pendente da luminária	h pend	m	0
	07	Pé-direito útil	$h = H - hpt - h_{pend}$		2,20
	08	Índice do recinto	$K = \frac{a \cdot b}{h (a \cdot b)}$		1,95
	09	Fator de depreciação	Fd		0,80
	10	Coefficiente de reflexão	Teto ρ_1		0,70
	11	Coefficiente de reflexão	Paredes ρ_2		0,30
	12	Coefficiente de reflexão	Piso ρ_3		0,10

f) Nível de Iluminância Adequado

Consultando-se a norma NBR-5413, estipula-se a Iluminância Média de escritórios em $E_m = 500$ lx.

Fator de Depreciação (Fd): ambiente salubre, com boa manutenção (em caso de queima, troca imediata; limpeza das luminárias a cada 6 meses). $F_d = 0,8$ (corresponde a uma margem de depreciação de 20% da Iluminância Média necessária).

g) Cores

- Teto:
Forro de gesso pintado / cor branca.
- Paredes:
Pintadas / cor verde-claro; duas paredes com persiana/cor verde-claro.
- Piso:
Carpete / cor verde-escuro.

• Mobiliário:

mesas e armários de fórmica / cor bege-palha;
cadeiras forradas / cor caramelo.

h) Proporção Harmoniosa entre Luminâncias

Partindo-se do princípio de que a iluminação se distribuirá de uma forma homogênea ao longo da 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 recomendada entre as Luminâncias será provavelmente alcançada através da variação natural de Luminâncias incidentes sobre as diferentes superfícies.

07 | EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	Fator de utilização								
0,60	34	29	26	33	29	26	29	26	25
0,80	40	36	33	39	35	32	35	32	31
1,00	45	41	38	44	41	38	40	38	36
1,25	50	46	43	49	45	43	45	42	41
1,50	53	50	47	52	49	46	48	46	45
2,00	58	55	52	56	54	52	53	51	50
2,50	60	58	56	59	57	55	56	55	53
3,00	62	60	58	61	59	58	58	57	55
4,00	64	63	61	63	62	60	61	59	58
5,00	66	64	63	64	63	62	62	61	59

Figura 58 - Exemplo de tabela de Fator de Utilização de Luminária

i) Limitação de Ofuscamento

Ofuscamento não deverá ocorrer, uma vez que as superfícies dos móveis e objetos não são lisas ou espolhadas. O ofuscamento direto será evitado se forem empregadas luminárias, cujo ângulo de abertura de fecho acima de 45° não apresentar Luminância acima de 200 cd/m².

Obs.: algumas luminárias para lâmpadas fluorescentes são indicadas por seus fabricantes para utilização em áreas de terminais de vídeo ou computadores.

j) 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 das telas de computadores sejam protegidas por persianas ou cortinas, para se evitar que a alta

Luminância seja refletida e que o operador faça sombra sobre a tela.

k) Características do fornecimento de energia elétrica

- Tensão estável na rede (220V)
- Custo de kWh: US\$ 0,15
- Acendimento individualizado (interruptor na entrada da sala)
- Pontos de energia próximos às mesas.

l) Tonalidade de Cor da Luz

Para o ambiente de um escritório e Iluminação de 500 lx, recomenda-se que a Tonalidade de Cor da luz seja Branca Neutra (aproximadamente 4000K).

m) Reprodução de Cores

Aconselha-se que o Índice de Reprodução de Cores para este tipo de trabalho seja acima de 80.

As lâmpadas fluorescentes de pó trifósforo são as mais adequadas.

Carac. da iluminação	13	Iluminância planejada	E_m	lx	500
	14	Tonalidade ou temp. da cor		K	4000
	15	Índice de reprodução de cores		IRC	89

Lâmpadas e luminárias	16	Tipo de lâmpada	φ	lm	LUMILUX® T5 HE
	17	Fluxo luminoso de cada lâmpada	z	Unid.	3300
	18	Lâmpadas por luminária			2
	19	Tipo de luminária			-
	20	Fator de fluxo luminoso	BF		1
	21	Eficiência da luminária	η_L		-
	22	Eficiência do recinto	η_r		-
	23	Fator de utilização	$F_u = \eta_L \cdot \eta_r$		0,55
	24	Quantidade de lâmpadas	$n = \frac{E_m \cdot A}{\varphi \cdot F_u \cdot BF \cdot F_d}$	Unid.	26
	25	Quantidade de luminárias	$N = n/z$	Unid.	13

n) Ar-condicionado e Acústica

O ruído 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 funcionará com uma intensidade 25% menor do que se a instalação for feita com lâmpadas fluorescentes, e não incandescentes, que irradiam muito calor.

o) Escolha das Lâmpadas

Os dados anteriores nos levam a concluir que o tipo de lâmpadas indicado para este projeto é a fluorescente LUMILUX® T5 HE. Ela existe nas versões de 14, 21, 28 e 35W.

Optaremos pela versão LUMILUX® T5 HE 35W/840, porque o salão é am-

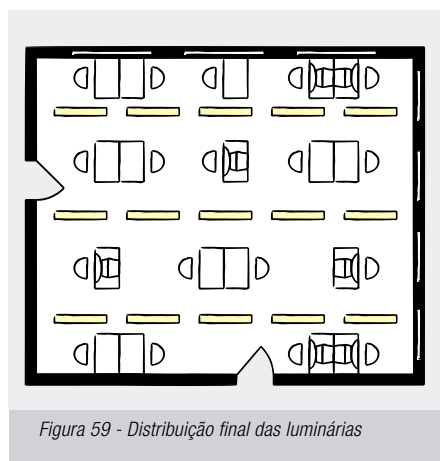
plado, não há limitação física de comprimento da lâmpada, e sua utilização é mais compensadora. Os dados da lâmpada são obtidos nos catálogos OSRAM.

A saber:

- LUMILUX® T5 HE 35W/840
- Fluxo luminoso: 3.300 lm
- Temperatura de cor: 4000K Branca Neutra
- Índice de reprodução de cor: 89

p) Escolha da Luminária

A luminária poderá ser de embutir, de alta eficiência e com 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.



q) Cálculo da Quantidade de Luminárias

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

r) 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.

s) Definição dos Pontos de Iluminação

Escolhe-se a disposição das luminárias levando-se em conta o layout 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 10m comporta a linha contínua formada por 5 luminárias, cada uma de aproximadamente 1,44m, não havendo perigo de não adaptação ao projeto (fig. 59).

t) Cálculo de Controle

Uma vez de acordo com o resultado fornecido, podemos nos certificar do valor exato da Iluminância Média obtida, através dos itens 26 e 27.

u) Avaliação do Consumo Energético

Os itens 28, 29 e 30 da planilha podem ser calculados da seguinte maneira:

Obs.: 70 W = Considerando a utiliza-