

ILUMINAÇÃO DE INTERIORES: ANÁLISE E ORIENTAÇÃO PARA APLICAÇÕES

Jaques da Silva Barbosa

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovada por:

Prof. Jorge Luis do Nascimento, Dr. Eng.
(Orientador)

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph. D.

Prof. Leonardo Pereira da Silva, Eng

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
NOVENBRO DE 2007

“E não vos conformeis com este século, mas transformai-vos pela renovação da vossa mente, para que experimenteis qual seja a boa, agradável e perfeita vontade de Deus.”

Romanos 12:2

Agradecimentos

À Deus por ser o meu porto seguro, meu senhor , autor e consumidor da minha fé.

A minha mãe que sempre me apoiou e me incentivou em todos os passos da minha vida.

A minha amada namora que soube ter paciência, carinho e compreensão nas horas mais difíceis.

Aos meus irmãos, pelo afago, incentivo depositado durante os anos.

Ao Prof. Jorge pela amizade, orientação, incentivo e revisão deste trabalho .

Aos meus amigos pelo incentivo, companheirismo.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica que sempre se mostraram prestativos, auxiliando minha caminhada.

RESUMO

Neste projeto de fim de curso foram definidas linhas metodológicas, na forma de roteiros acompanhados de análises, para aplicações em luminotécnica. Além de organizar e estruturar a ligação de conceitos, fórmulas, grandezas, levantamentos de dados de aplicação e análise de projetos de iluminação.

Num primeiro momento, o projeto procurou ambientar o leitor ao tema, apresentando: um breve histórico, conceitos, grandezas e os equipamentos disponíveis no mercado. Foi também introduzido o estudo sobre fotometria com o objetivo de enriquecer o trabalho.

Por fim, procuramos reunir todos os conceitos vistos anteriormente para que se possa definir linhas metodológicas na forma de roteiros acompanhados de análises envolvendo diferentes tipos de ambientes, para elaboração de projetos de iluminação de interiores.

ÍNDICE:

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1- COMEÇO DA ILUMINAÇÃO	1
1.2- DESENVOLVIMENTO DA ILUMINAÇÃO ELÉTRICA	4
1.3- JUSTIFICATIVAS DO PROJETO E OBJETIVOS.....	7

CAPÍTULO II – CONCEITOS BÁSICOS DE ILUMINAÇÃO

2.1- INTRODUÇÃO.....	8
2.1.1- O OLHO HUMANO.....	9
2.1.2- O EXPERIMENTO DO $V(\lambda)$	11
2.2- GRANDEZAS E UNIDADES UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO.....	11
2.2.1- LUZ E CORES	12
2.2.2- FLUXO RADIANTE.....	13
2.2.3- FLUXO LUMINOSO.....	13
2.2.4- ÂNGULO SÓLIDO.....	14
2.2.5- INTENSIDADE LUMINOSA.....	16
2.2.6- ILUMINÂNCIA.....	17
2.2.7- EXITÂNCIA LUMINOSA.....	18
2.2.8- LUMINÂNCIA.....	19
2.2.9- EFICIÊNCIA LUMINOSA.....	21
2.2.10- TEMPERATURA DA COR CORRELATA.....	22
2.2.11- ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR.....	23
2.3- FATORES DE INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ILUMINAÇÃO.....	25
2.3.1- NÍVEL DE ILUMINAÇÃO ADEQUADA.....	25
2.3.2- LIMITAÇÃO DE OFUSCAMENTO.....	27
2.3.3- PROPORÇÃO HARMONIOSA ENTRE LUMINÂNCIAS.....	28
2.3.4- EFEITO LUZ E SOMBRA.....	28
2.3.5- REPRODUÇÃO DE CORES.....	29
2.3.6- TONALIDADE DA COR DA LUZ.....	30
2.3.7- AR CONDICIONADO E ACÚSTICA.....	30

CAPITULO III – EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

3.1- INTRODUÇÃO.....	31
3.2- O LUXÍMETRO.....	31
3.3- SISTEMAS DE MEDIÇÃO FOTOMÉTRICA: EQUIPAMENTOS BÁSICOS.....	37
3.3.1- BANCO ÓTICO.....	37
3.3.2- GONIOFOTÔMETRO.....	38
3.3.3- GONIOFOTÔMETRO COM VÁRIAS FOTOCÉLULAS FIXAS.....	43
3.3.4- GONIOFOTÔMETRO COM FOTOCÉLULA QUE SE MOVE EM TORNO DA FONTE.....	43
3.3.5- GONIOFOTÔMETRO COM ESPELHO MÓVEL.....	44
3.4- DETERMINAÇÃO DE FLUXO LUMINOSO.....	44
3.4.1- A ESFERA INTEGRADORA DE ULBRICHT.....	44

CAPÍTULO IV – PRINCIPAIS LÂMPADAS PARA ILUMINAÇÃO INTERNA

4.1- INTRODUÇÃO.....	48
4.2- LÂMPADAS INCANDESCENTES.....	48
4.2.1- O FILAMENTO.....	49
4.2.2- O MEIO INTERNO.....	51
4.2.3- BULBO.....	52
4.2.4- BASES.....	54
4.2.5- OUTRAS PARTES DE VIDRO.....	55
4.2.6- VIDA E EFICIÊNCIA LUMINOSA.....	55
4.2.7- FATOR DE POTÊNCIA.....	56
4.2.8- EFEITO ESTROBOSCÓPICO.....	56
4.2.9- CORRENTE DE PARTIDA DAS LÂMPADAS.....	56
4.2.10- DEPRECIAÇÃO DO FLUXO LUMINOSO.....	56
4.2.11- LÂMPADAS INCANDESCENTES HALÓGENAS.....	57
4.2.11.1- O PRINCÍPIO DO CICLO HALÓGENO OU IODO.....	57
4.2.11.2- COMO FUNCIONA A HALÓGENA – IR.....	59

4.2.11.3- LUZ, VIDA & TENSÃO.....	59
4.2.11.4- PRECAUÇÕES NO USO DAS LÂMPADAS HALÓGENAS.....	60
4.2.12- LÂMPADAS INCANDESCENTES REFLETORAS (PAR).....	63
4.2.13- TABELAS, IDENTIFICAÇÃO DE LÂMPADAS, DO BULBO E DA BASE.....	64
4.3- LÂMPADAS DE DESCARGA ELÉTRICA.....	65
4.3.1- MEIO INTERNO.....	65
4.3.2- ELETRODOS.....	66
4.3.3- BULBO.....	66
4.3.4- PRODUÇÃO DE RADIAÇÕES PELA DESCARGA ELÉTRICA	67
4.3.5- A DESCARGA ELÉTRICA: SUA IONIZAÇÃO E SUA ESTABILIZAÇÃO.....	68
4.3.6- ESTABILIZAÇÃO POR CIRCUITO RESISTIVO.....	72
4.3.7- ESTABILIZAÇÃO POR CIRCUITO INDUTIVO.....	73
4.3.8- ESTABILIZAÇÃO POR CIRCUITO CAPACITIVO.....	73
4.3.9- ESTABILIZAÇÃO POR MEIO DE REATORES DUPLOS.....	74
4.3.10- OUTROS PROCESSOS DE ESTABILIZAÇÃO DA DESCARGA ELÉTRICA.....	76
4.3.11- VIDA E CORRENTE DE PARTIDA DAS LÂMPADAS DE DESCARGA ELÉTRICA.....	76
4.3.12- CORRENTE DE PARTIDA DAS LÂMPADAS DE DESCARGA ELÉTRICA.....	77
4.3.13- REATORES ELETRÔNICOS.....	77
4.3.14- LÂMPADAS FLUORESCENTES.....	78
4.3.14.1- LÂMPADAS FLUORESCENTES DE CATODO QUENTE COM PREAQUECIMENTO.....	78
4.3.14.2- CIRCUITO "CONVENCIONAL" DE FUNCIONAMENTO: LÂMPADA, REATOR E DISPOSITIVO DE PARTIDA.....	79
4.3.14.3- CIRCUITO "PARTIDA RÁPIDA" DE FUNCIONAMENTO: LÂMPADA E REATOR ESPECIAL.....	80
4.3.14.4- LÂMPADAS FLUORESCENTES DE CATODO QUENTE SEM PREAQUECIMENTO	81
4.3.14.5- LÂMPADAS FLUORESCENTES DE CATODO FRIO.....	82
4.3.14.6- MODERNAS LÂMPADAS FLUORESCENTES.....	83

CAPÍTULO V – APARELHOS DE ILUMINAÇÃO INTERNA

5.1- INTRODUÇÃO.....	85
5.2- RECEPTÁCULO PARA FONTE LUMINOSA.....	85
5.3- DISPOSITIVOS PARA MODIFICAÇÃO ESPACIAL DO FLUXO LUMINOSO EMITIDO PELA FONTE.....	86
5.3.1- REFLETORES.....	86
5.3.2- REFRATORES E LENTES.....	86
5.3.3- DIFUSORES E COLMÉIAS.....	87
5.3.4- CARCAÇA, ÓRGÃOS DE FIXAÇÃO E DE COMPLEMENTAÇÃO.....	88
5.4- TIPOS DE LUMINÁRIAS.....	89
5.4.1- LUMINÁRIA TBS 910/232.....	89
5.4.2- LUMINÁRIA TCS 029.....	91
5.4.3- LUMINÁRIA TCK 431.....	92
5.4.4- LUMINÁRIA TBH 925.....	94

CAPÍTULO VI – GUIAS DE ORIENTAÇÕES PARA APLICAÇÕES EM PROJETOS

6.1- OBJETIVOS DA ILUMINAÇÃO.....	96
6.2- ESCOLHA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	99
6.2.1- ILUMINAÇÃO GERAL.....	99
6.2.2- ILUMINAÇÃO LOCALIZADA.....	101
6.2.3- ILUMINAÇÃO DIRIGIDA.....	101
6.2.4- ILUMINAÇÃO COM EFEITOS ESPECIAIS.....	102
6.2.5- ILUMINAÇÃO DE FUNDO.....	103
6.2.6- ILUMINAÇÃO INDIRETA.....	104
6.3- ITENS DE PROJETO POR SETOR DE APLICAÇÃO.....	106
6.3.1- INTRODUÇÃO.....	106
6.3.2- ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL.....	106
6.3.3- ILUMINAÇÃO COMERCIAL.....	109
6.3.4- ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL.....	114

CAPÍTULO VII – CONCLUSÃO.....119

BIBLIOGRAFIA.....121

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 – COMEÇO DA ILUMINAÇÃO.

Segundo COSTA [8], a primeira forma de luz utilizada pela natureza humana foi de origem solar, compreendendo aí todos os tons sucessivos da radiação, começando com tons avermelhados na aurora, que sucessivamente vão passando por tons laranjas, amarelos e azuis, até atingir a luz branca durante o dia; no entardecer o fenômeno se inverte, atingindo no crepúsculo o tom avermelhado até a escuridão.

É provável que o interesse pela luz tenha se iniciado quando um de nossos ancestrais pré-históricos reuniu alguns galhos de árvore em chamas de um incêndio na floresta e os levou até a sua caverna. Muito tempo depois, nos tempos medievais, mantinham-se feixes de pinho em chamas suspensos pelo teto ou em suportes fixos nas paredes para iluminar os ambientes. A madeira de pinho chegou a ser chamada de "vela de madeira" e também foi usada nos tempos coloniais nos Estados Unidos.

Poderíamos dizer que a tocha foi a primeira lâmpada portátil. Índios americanos usavam feixes de pinho como tochas e os colonos americanos descobriram que certos tipos de junco, quando secos e imersos em graxa ou gordura, poderiam ser acesos e proporcionar iluminação. Por várias razões óbvias, a madeira não se tornou uma fonte de luz satisfatória. Ao longo da História quatro outros tipos de lâmpadas luz apareceram: lâmpada de óleo cru, lâmpada com reservatório de óleo, lâmpada com óleo de baleia e a lâmpada de querosene

As antigas civilizações da Babilônia e do Egito (3.000 A.C.) tinham lâmpadas de óleo cru. Eles usavam pedras ou conchas e enchiam com gordura animal ou óleo vegetal. Tempos depois, os recipientes começaram a ser feitos de argila e metal. Por volta de 500 A.C., os gregos e os romanos desenvolveram a lâmpada com reservatório de óleo. Ela tinha uma tampa para evitar que caíssem sujeiras e partículas no combustível.

Entre os romanos, séculos mais tarde, o tipo mais comum de lanterna era feito de terracota, com o pavio colocado numa abertura, em forma de expansor, com alça numa das extremidades, para facilitar o transporte. Este tipo de lâmpada ainda é usada para fins decorativos (Figura 1.1).



Figura 1.1 - Lâmpada romana em terracota, à óleo vegetal [14].

No século XVII, com o desenvolvimento da indústria da baleia, surgiram combustíveis melhores. Lâmpadas com óleo de baleia produziam uma luz mais estável e mais brilhante, embora produzissem mais fumaça e fossem mais perigosas. A descoberta do petróleo por Coronel Drake, em 1858, forneceu um novo combustível líquido para iluminação. As lâmpadas de querosene eram seguras, forneciam uma luz melhor e eram mais baratas.

Três outras descobertas ajudaram a sua aceitação: a invenção do fósforo de fricção, o pavio chato com botão mecânico para apagar a lâmpada pelo lado de fora, e a criação da lâmpada de chaminé. Em 1783, um químico suíço, chamado Ami Argand descobriu que colocando um cilindro de vidro envolvendo a chama da lâmpada evitava-se que a lâmpada enfumaçasse o ambiente e tornava a luz mais estável e brilhante.

A descoberta de Argand foi tão significativa, no período, que Thomas Jefferson escreveu da Europa em 1784: "Foi inventada uma lâmpada chamada lâmpada cilíndrica aqui. Ela dá uma luz igual a 6 ou 8 candelas. Este incremento é conseguido forçando o pavio num cilindro estreito tal, que aumenta a passagem de ar por ele."

Quando esta lâmpada foi inventada, cada pavio fornecia apenas uma candela. Em paralelo com o desenvolvimento da lâmpada, temos o desenvolvimento da vela. Este está intimamente ligado ao desenvolvimento da Igreja Cristã e data de 400 D.C.. As velas utilizadas na igreja eram feitas de cera de abelha (a abelha era o símbolo da pureza) e eram muito caras.

A indústria da Baleia produziu, também, ceras melhores para as velas. Espermacete, uma cera translúcida e finamente cristalina que vaporiza facilmente, é derivada do óleo da cavidade do esperma de baleia. Ele é superior a todos os outros materiais para fabricação de

velas. Por este motivo, as velas de espermacete eram usadas como padrões para medições básicas de luz.

Por volta de 1850 descobriu-se que muito da fumaça e do odor produzido por estas velas poderia ser eliminado removendo a glicerina da gordura animal. O resultado foi a vela de estearina. Quase ao mesmo tempo, surgiu a parafina, um derivado do petróleo. Muitas das velas usadas hoje em dia são fabricadas com parafina.

Alguns registros indicam a utilização do gás natural em lanternas, pelos chineses, alguns séculos antes da Era Cristã. No hemisfério ocidental, somente na segunda metade do século XVII, o belga Jean Baptiste Van Helmont percebeu que na combustão de um sólido, ou, na fermentação, há o desprendimento de uma substância invisível, a qual chamou gás (do grego: khaos), por analogia com a alma. Em torno de 1800, descobriu-se como destilar carvão para se obter gás e a iluminação à gás foi introduzida. Em 1823 havia 40 mil lâmpadas a gás em Londres.

O primeiro bico de gás era simplesmente uma pipeta de ferro com furos na terminação. Depois surgiu o queimador de glissada alternada, com dois jatos a 90°, formando uma chama estreita. Durante a maior parte do século XIX, a iluminação a gás era obtida por meio de bicos de gás. Foi então que C. A. Von Welsbach, inventou o bico de Welsbach: um cone de algodão tricotado, embebido em nitratos (mais tarde óxidos) que, quando aquecido pela primeira vez, deixava uma espécie de malha fina de cinzas que se tornava incandescente quando colocada sobre uma chama de gás. Esta camisa proporcionava três vezes mais luz do que a chama do bico de gás simples (Figura 1.2).

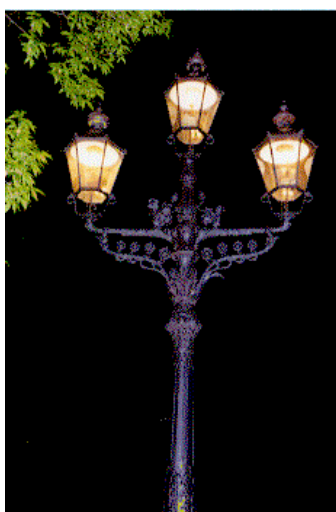


Figura 1.2 - Candelabro do tipo Charlottenourg – Museu da Iluminação a gás de Berlim [14].

A invenção da lâmpada incandescente por Thomas Edison, em 1879, disparou uma batalha de 30 anos entre aproximadamente 500 companhias de gás que existiam nos EUA, com suas estações centrais e redes de distribuição, e a novata indústria da iluminação elétrica. Obviamente, esta última ganhou a batalha, devido às limitações dos dispositivos para iluminação a gás: eles tinham de ser acesos por uma haste; nada inflamável podia ser colocado próximo deles; eles precisavam de ar, mas, por outro lado não podiam ser submetidos a fortes correntes de ar; eles eram difíceis de acender e, sobretudo, sujos.

Mesmo com todas essas desvantagens, 25% da população dos EUA, em torno de 1900, ainda dependiam da iluminação a gás.

1.2 - DESENVOLVIMENTO DA ILUMINAÇÃO ELÉTRICA

Em 1650, Otto Von Guericke, um cientista alemão, descobriu que a luz podia ser produzida através da eletricidade. Ele inventou um aparelho que, quando se gira rapidamente uma esfera de enxofre, simultaneamente friccionada com a mão, observa-se a formação de ligeira luminosidade.

Em 1710, Sir Francis Hauksbee, um inglês, produziu uma incandescência dentro de um globo de vidro, cujo ar tinha sido retirado e adicionado mercúrio. Ele chamou a incandescência de luz elétrica e clamou que seu experimento comprovava que a luz podia ser obtida a partir da eletricidade.

Benjamin Franklin, com a sua famosa pipa experimental, em 1752, deu mais provas de que a eletricidade poderia produzir luz, coletando cargas elétricas de nuvens em frascos de Leyden durante uma tempestade.

Em 1802, Sir Humphrey Davy provou que fios de platina ou de outros metais, quando aquecidos por meio da passagem de corrente elétrica até a incandescência, eram capazes de emitir luz. Esta observação levaria ao desenvolvimento da lâmpada incandescente.

Foi ele também o inventor da lâmpada de arco, fazendo passar corrente elétrica por dois pedaços de carvão ligeiramente separados. Em 1808, à frente dos membros da Instituição Real, foi que Davy demonstrou o primeiro arco no carbono. Uma descarga luminosa de aproximadamente 4 polegadas entre dois pedaços de carvão conectados à uma

bateria de 2.000 células. A lâmpada a arco seria extensivamente utilizada para iluminação de exteriores pelo resto do século XIX.

A observação da incandescência, por Davy, levou à lâmpada incandescente de De la Rue na Inglaterra em 1820. A lâmpada de De la Rue consistia de um enrolamento com fio de platina montado em um tubo de vidro. As terminações eram conectadas a uma base de latão na extremidade do tubo.

Na lâmpada de De la Rue o filamento ficava no vácuo, e ele percebeu que o vácuo não era uma boa opção porque a lâmpada tinha uma vida muito curta. Da lâmpada de De la Rue em 1820 ao primeiro sucesso de Edison, em 1879, com a lâmpada incandescente que tinha o filamento constituído por um fio de linha carbonizado em um cadinho hermeticamente fechado.

Entretanto, nenhuma das soluções encontradas eram práticas, confiáveis, com vida compatível com a necessidade e comercialmente aceitáveis. William Sawyer, Moses Farmer, Hiram Maxim, Frederick De Moleyns e Sir Joseph Swan trabalharam neste período no desenvolvimento de lâmpadas incandescentes.

Todos esses experimentadores usaram filamentos grossos, de platina ou de carbono, que tinham baixa resistência e requeriam muita corrente para se tornarem incandescentes. Edison mostrou que um filamento fino como um fio de cabelo, que tinha alta resistência e assim requeria baixa corrente para se tornar incandescente, era a solução para uma lâmpada comercialmente prática.

A primeira lâmpada de Edison tinha filamento de carvão e produziu luz por dois dias! Edison chegou a esta lâmpada após 1.200 experiências. Mais tarde, ele utilizou filamentos de papel e bambu carbonizados, e, em 1894, usou filamento de celulose.

A primeira lâmpada com filamento metálico (ósmio) foi inventada por Welsbach, e o filamento de tungstênio só apareceu em 1907. Com o passar dos anos descobriu-se que o uso de gases inertes no bulbo aumentava a vida da lâmpada.

Em paralelo com o desenvolvimento da lâmpada incandescente houve o desenvolvimento da lâmpada a arco. A primeira lâmpada a arco, patenteada em 1845, foi desenvolvida por Wright. A primeira lâmpada a arco comercial foi instalada na Dungeness Lighthouse, na Inglaterra, em 1862.

O sistema mais antigo de lâmpadas a arco nos EUA foi desenvolvido por Edward Weston, Elihu Thomson, William Wallace e Charles Brush, entre 1870 e 1880, sendo que Brush foi o primeiro a criar um sistema de iluminação para a noite toda em Cleveland, em 1879 (Figura 1.3).



Figura 1.3 - Lâmpada a arco voltaico, tipo arco fechado [14].

A terceira forma de fonte de luz desenvolvida no século XIX foi a que tinha como princípio a descarga em gases em tubos fechados. O cientista alemão, Herman Geissler, tinha observado em 1856 que um tubo contendo uma pequena quantidade de ar incandescia se aplicada alta tensão entre suas extremidades.

A primeira lâmpada em que se utilizou vapor de mercúrio foi inventada por Arons em 1892, que levou Peter Cooper Hewitt a produzir uma lâmpada de mercúrio tubular comercial em 1901. A lâmpada de Cooper Hewitt foi largamente utilizada no início do século XX e levou ao desenvolvimento da lâmpada a vapor de mercúrio a alta pressão na década de 30 e as lâmpadas multivapores metálicos e de sódio, em 1950 e 1960.

Um quarto tipo de fonte de luz que se desenvolveu fez uso da fluorescência. Em 1852, Sir George Stokes descobriu o princípio básico de transformar radiação ultravioleta em radiação visível. Ele descobriu que uma solução de sulfato de quinino incandescia quando irradiada por energia ultravioleta.

Sete anos mais tarde, A.E. Becquerel descobriu que certos tipos de revestimento aplicados num tubo de vidro fluoresciam quando uma alta tensão era aplicada. Essas descobertas desencadearam extensas pesquisas em materiais fluorescentes no início do século XX e desenvolvimento da lâmpada fluorescente, em 1930.

1.3 – JUSTIFICATIVAS DO PROJETO E OBJETIVOS

Hoje há uma vasta literatura que trata sobre as Técnicas de Iluminação e softwares que são ferramentas poderosas para os cálculos de projetos. Entretanto, os livros disponíveis, e que são usados pelos profissionais de ensino e técnicos, não atendem completamente a todas as necessidades de um projetista.

Pode-se perceber no estudo da literatura utilizada a maneira pela qual os diversos autores apresentam o tema. Enquanto alguns apresentam textos especializados, sendo superficiais na apresentação dos conceitos e no desenvolvimento das equações, outros apresentam conceitos e justificativas teóricas mais aprofundadas.

Foi proposto então a elaboração de um guia, com o objetivo de desenvolver os roteiros de iluminação envolvendo os tipos de trabalho executados em diferentes tipos de interiores. A idéia fundamental é ajudar na orientação dos interessados em iluminação, deixando o aperfeiçoamento no assunto para ser realizado através de outras referências com aprofundamento específico. O formato escolhido consiste basicamente da apresentação de roteiros para aplicação na iluminação em diferentes tipos de interiores, embasados em uma breve revisão conceitual. O texto procura organizar e estruturar a relação de informações conceituais, grandezas e análises, definindo linhas metodológicas de análise de projetos de iluminação.

CAPÍTULO II – CONCEITOS BÁSICOS DE ILUMINAÇÃO

2.1 – INTRODUÇÃO

Os trabalhos de Planck, Einstein, Rutherford e Bohr geraram muitos anos de controvérsia no meio da física, culminando com a relutante aceitação de que a luz se apresenta de forma dualística na natureza: ora tem comportamento de onda eletromagnética, ora de partícula. Na fonte ou no receptor, o comportamento de partícula se aplica melhor ao entendimento dos fenômenos. No meio entre a fonte e o receptor, o comportamento de onda se aplica melhor.

A Fotometria e a Radiometria se ocupam da medição da luz. A Fotometria só se preocupa com a luz propriamente dita (radiação visível) e a Radiometria, com toda a radiação emitida por uma fonte (visível e não-visível).

O principal objetivo da Fotometria é medir a radiação visível, de tal forma que os resultados tenham uma correlação, a mais estreita possível, com a sensação visual produzida num observador humano normal exposto a esta mesma radiação. Os instrumentos mais antigos para medição utilizavam-se do olho humano como meio. Estes métodos eram deficientes em precisão, porque os resultados obtidos dependiam muito do observador. Para um mesmo observador, a repetitividade da medição era pobre por causa de um grande número de variáveis, que não podiam ser controladas ou explicadas e que influenciavam a medição. Estas técnicas predominaram até 1940. Em geral, um observador era solicitado para avaliar o brilho de dois objetos que eram mostrados, ou simultaneamente, ou alternadamente. Isto caracterizava os fotômetros visuais.

Hoje estes métodos são pouco utilizados. Sua utilização se restringe, na maioria das vezes, a pesquisas e trabalhos experimentais. As medições convencionais são realizadas por meio de instrumentos dotados de um fotoelemento que, exposto à radiação, produz um sinal elétrico que tem uma relação matemática (de preferência linear) com a grandeza que está sendo medida.

A resposta visual humana está restrita a uma pequena faixa do espectro das radiações eletromagnéticas. Esta faixa do espectro está situada entre 380 e 770 nm, dependendo do observador. Devemos lembrar que uma fonte de luz raramente emite radiação somente nesta

faixa do espectro e que a medição destas outras radiações pode ser importante também em função dos efeitos que elas possam causar aos seres vivos. Estas outras radiações se enquadram dentro do que chamamos radiações óticas, que são objeto de estudo da Radiometria. O ultravioleta e o infravermelho, por exemplo, são consideradas radiações óticas.

Para que as medições fotométricas por instrumentos tivessem validade havia a necessidade de que os instrumentos possuíssem uma resposta semelhante ao do olho humano. A partir dessa necessidade a Comissão Internationale de l'Éclairage (CIE), estabeleceu uma curva de resposta do observador padrão (Curva da Eficácia Luminosa Espectral). Foram estabelecidas duas curvas: uma para visão fotópica (alta luminância) denominada $V(\lambda)$, e, uma para visão escotópica (baixa luminância) denominada $V'(\lambda)$ (Figura 2.1).

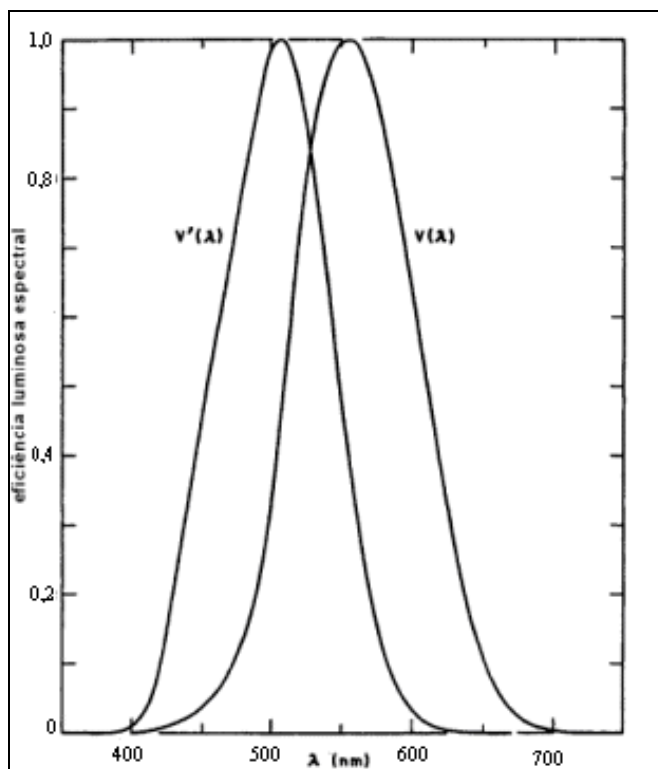


Figura 2.1- Curva da Eficácia Luminosa Espectral [14].

2.1.1 - O OLHO HUMANO

A retina é a parte do olho aonde se formam as imagens. Existem dois tipos de receptores na retina: os cones e os bastonetes. Eles transformam a energia radiante em energia química que produz impulsos elétricos que são enviados ao cérebro pelo nervo ótico. Existe

uma região da retina chamada Fóvea que contém quase exclusivamente cones. Essa região é responsável pela visão das cores (Figura 2.2).

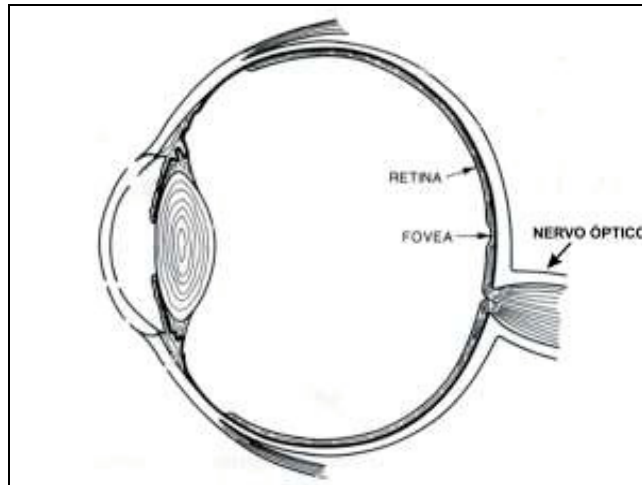


Figura 2.2 - Vista em corte do olho humano [14].

Na tabela abaixo temos algumas características dos cones e bastonetes (Tabela 2.1).

	BASTONETES	CONES
Número	130 x 10 ⁶	7 x 10 ⁶
Formato	Cilíndricos com 0,07 mm de comprimento e 0,002 mm de diâmetro	Cônicos com 0,005 mm de diâmetro da base por 0,07 mm de altura
Distribuição	Localizados do lado de fora da fóvea. Proporção de bastonetes aumenta com o aumento da distância radial da fóvea	150.000/ mm ² na fóvea.
Tempo de adaptação	30-40 minutos	> 2 minutos
Sensibilidade	Escotópica, < 0,0347 cd/m ² alta sensibilidade à luminância, visão noturna. Baixa sensibilidade	Fotópica, > 3,4 cd/m ² baixa sensibilidade à luminância, visão diurna. Excelente sensibilidade ao contraste
Conexão ao nervo ótico	Conectados em grupos proporcionando baixa acuidade visual mas alta sensibilidade	Individualmente conectado proporcionando imagem fiel mas baixa sensibilidade
Característica de visão	Acromática, todos os objetos aparecem cinza. Mais sensibilidade ao azul do que ao vermelho. Visão é periférica acima de 190° com pobre percepção de profundidade. Pobre para detalhes finos.	Cromática, com o pico de sensibilidade entre o amarelo e o verde. Visão é central e binocular acima de 120° dando boa noção de profundidade. Rica em detalhes.

Tabela 2.1 – Tabela características dos cones e bastonetes [14].

2.1.2 - O EXPERIMENTO DO $V(\lambda)$

A função $V(\lambda)$ para visão fotópica é baseada em medições de eficiência espectral luminosa que foram publicadas por vários pesquisadores, entre 1912 e 1923, e revistas por K.S. Gibson e E.P.T. Tyndall. O trabalho de Gibson e Tyndall foi terminado em 1932 e publicado sob o título: "Visibility of Radiant Energy".

Durante o período de 1921 à 1923, 52 observadores fizeram comparações de luminância. Para cada observador era pedido para ajustar a densidade de potência de uma fonte de luz de um dado comprimento de onda até que a sua luminância se igualasse a uma outra fonte de luz com comprimento de onda com 10 nm de diferença. As luminâncias eram comparadas num fotômetro de campo circular, com uma luminância no semicírculo da direita e outra no semicírculo da esquerda. O processo era repetido entre um dos dois comprimentos originais e um terceiro distante 10 nm dele, até que todo espectro fosse coberto.

Nessas condições foram usados pequenos campos de visão, subentendendo ângulos de abertura de 2° à 3°, com fixação central. As luminâncias no campo visual eram, muitas vezes, menores do que 10 cd/m² e apenas altas o suficiente para a condição de visão fotópica, particularmente no final do espectro visível. Mais tarde a CIE (1924) adotou intervalos de 10 nm para os valores de $V(\lambda)$.

Existe uma região intermediária entre as regiões fotópica e escotópica que é chamada região mesópica (luminância entre 0,034 cd/m² e 3,4 cd/m²). Devido a dificuldades metodológicas não há uma curva para esta região, mas, ela não deixa de ter sua importância para iluminação de vias, segurança e outros casos de iluminação noturna.

2.2 – GRANDEZAS E UNIDADES UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO

As grandezas e unidades a seguir relacionadas são fundamentais para o entendimento dos elementos da luminotécnica. As definições das normas técnicas são da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

2.2.1 – LUZ E CORES

Uma fonte de radiação emite ondas eletromagnéticas. Elas possuem diferentes comprimentos e o olho humano é sensível a somente alguns. Luz é, portanto, a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual (Figura 2.3). A sensibilidade visual para a luz varia não só de acordo com o comprimento de onda da radiação, mas também com a luminosidade.

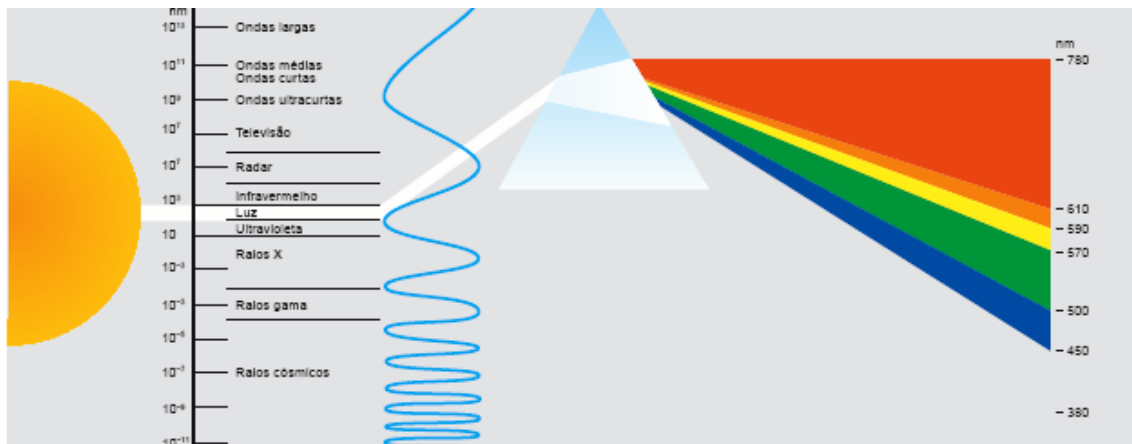


Figura 2.3 – Espectro eletromagnético [15].

A curva de sensibilidade do olho humano (Figura 2.4) demonstra que radiações de menor comprimento de onda (violeta e azul) geram maior intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz (ex. crepúsculo, noite, etc.), enquanto as radiações de maior comprimento de onda (laranja e vermelho) se comportam ao contrário.

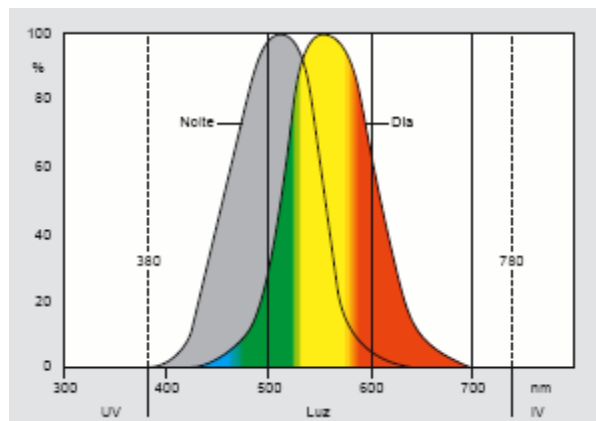


Figura 2.4 – Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas [15].

Há uma tendência em pensarmos que os objetos já possuem cores definidas. Na verdade, a aparência de um objeto é resultado da iluminação incidente sobre o mesmo. Sob uma luz branca, a maçã aparenta ser de cor vermelha, pois, ela tende a refletir a porção do vermelho do espectro de radiação absorvendo a luz nos outros comprimentos de onda. Se utilizássemos um filtro de onda para remover a porção do vermelho da fonte de luz, a maçã refletiria muito pouca luz parecendo totalmente negra. Podemos ver que a luz é composta por três cores primárias (Figura 2.5), com a combinação das cores vermelha, verde e azul permite obtermos o branco. A combinação de duas cores primárias produz as cores secundárias como: magenta, amarelo e cyan. As três cores primárias dosadas em diferentes quantidades permite obtermos outras cores de luz. Da mesma forma que surgem diferenças na visualização das cores ao longo do dia (diferenças da luz do sol ao meio-dia e no crepúsculo), as fontes de luz artificiais também apresentam diferentes resultados. As lâmpadas incandescentes, por exemplo, tendem a reproduzir com maior fidelidade as cores vermelhas e amarelas do que as cores verde e azul, aparentando ter uma luz mais “quente”.



Figura 2.5 - Composição das Cores [15].

2.2.2 - FLUXO RADIANTE

Símbolo: P

Unidade: Watt-Hora (Wh),
Joule (J)

O fluxo radiante é a quantidade de energia transportada por uma radiação.

2.2.3 – FLUXO LUMINOSO

Símbolo: ϕ

Unidade: Lúmen (Lm)

Segundo Costa [8], o fluxo luminoso é definido como a quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lumens, na tensão nominal de funcionamento de uma fonte luminosa. O conceito de fluxo luminoso é de grande importância para os estudos de iluminação. O fluxo luminoso é uma grandeza fotométrica derivada da intensidade luminosa. O conceito de fluxo luminoso está estreitamente ligado com a capacidade do homem de ver. Como a luz é uma forma de energia radiante que é percebida pelo homem e sua interação com o indivíduo está vinculada ao estudo experimental da sensibilidade visual do olho humano, compreender seu comportamento físico é imperativo para o especialista em luminotécnica.

O fluxo luminoso está contido no fluxo energético (ou fluxo radiante) e este, por sua vez, é uma energia resultante da radiação (energia radiante). O fluxo energético é uma grandeza que corresponde a um trabalho na unidade de tempo e, portanto, sua unidade de medida corresponde a de uma potência expressa em watts. Isto permite inferir que o fluxo luminoso é uma potência luminosa. Portanto, o fluxo luminoso representa uma potência luminosa emitida ou observada, ou ainda, representa a energia emitida ou refletida, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz. Sua unidade é o lúmen [lm] (Figura 2.6).



Figura 2.6 – Fluxo luminoso [15].

2.2.4 – ANGULO SÓLIDO

Símbolo: W

Unidade: esterradiano [sr]

Segundo Costa, o conceito matemático de angulo sólido é similar ao angulo plano, no entanto nem sempre é fácil visualizar o angulo sólido, como é o caso de angulo plano. Trata-se de uma definição matemática e, como definição matemática, a visualização espacial nem

sempre é possível. Para facilitar sua compreensão é interessante recordar o conceito matemático de ângulo plano.

O ângulo plano (α) é, por definição, o resultado do quociente entre o comprimento do arco l e o raio R da circunferência, sendo seu valor expresso em Radianos [rad]. Por exemplo, sabendo-se que o comprimento de uma circunferência de raio R é $2\pi R$, obtém-se o valor do ângulo plano central com o sentido igual a 2π rad. Um radiano é o ângulo central que subtende um arco de círculo de comprimento igual ao do respectivo raio.

$$\alpha = l / R$$

onde: l = comprimento do arco [m]

R = raio do círculo [m]

α = ângulo plano[rad]

De forma análoga, o ângulo sólido tem uma definição voltada para a tridimensionalidade de uma esfera de raio R e uma área A qualquer em sua superfície. Assim, o ângulo sólido ω expresso em esterradianos será o resultado do quociente entre uma área A situada na superfície de uma esfera e o quadrado do seu raio R (Figura 2.7). Um esterradiano [sr] é o ângulo sólido que tendo vértice no centro de uma esfera, subtende na superfície desta, uma área igual ao quadrado do raio da esfera.

$$\omega = A / R^2$$



Figura 2.7 - Ângulos plano (esquerda) e sólido (direita) [8].

onde: A = área na superfície da esfera [m²]

R = raio da esfera [m]

ω = ângulo sólido [sr]

2.2.5 – INTENSIDADE LUMINOSA

Símbolo: I

Unidade: Candela [Cd]

Segundo Costa [8], a intensidade luminosa é a grandeza de base do sistema internacional para iluminação. Entretanto, é mais fácil começar com o conceito de fluxo luminoso, pois é mais intuitivo, visto que representa uma potência luminosa emitida em todas as direções, razão pela qual ela foi a primeira a ser apresentada. Na verdade, a força geradora do fluxo luminoso é a intensidade luminosa que, numa analogia hidráulica, corresponde à pressão que impulsiona um jato de água.

O estudo da intensidade luminosa conduz à noção de um vetor luminoso emitido por uma fonte. Como vetor, deve apresentar módulo, direção e sentido. O módulo é o seu valor em candelas; sua direção é medida dentro de uma esfera, segundo uma direção a na qual a fonte luminosa está no centro; e o sentido é do centro para a periferia da esfera.

A medição da intensidade luminosa pressupõe que a fonte luminosa seja puntiforme, isto é, que seja um ponto luminoso. Na prática, as fontes luminosas apresentam dimensões finitas, mas quando observadas a uma certa distância, podem ser consideradas como puntiformes. A exigência para a medição da intensidade luminosa é que à distância de medição tenha pelo menos cinco vezes a maior dimensão da fonte. Praticando-se assim, o erro na medição será da ordem de 1%.

A intensidade luminosa é definida como a relação entre o fluxo elementar $d\phi$ e o respectivo ângulo sólido $d\omega$, na direção α do eixo do feixe luminoso, ou então, como a razão do fluxo luminoso $d\phi$, que sai de uma fonte e se propaga no elemento de ângulo sólido $d\omega$, que contém a direção considerada, para esse elemento de ângulo sólido (Figura 2.8). Em matemática:

$$I_{\alpha} = \lim_{\omega \rightarrow 0} \Delta\phi / \Delta\omega = d\phi / \omega$$

I_{α} - candela
[cd]

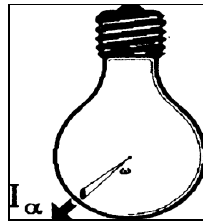


Figura 2.8 - A intensidade luminosa é um vetor de luz [8].

2.2.6 – ILUMINÂNCIA

Símbolo: E

Unidade: lux [lx]

Segundo Costa [8], o melhor conceito sobre iluminância talvez seja uma densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual. Isto permite supor que existe um valor ótimo de luz para quantificar um projeto de iluminação. Baseado em pesquisas realizadas com diferentes níveis de iluminação, os valores relativos da iluminância foram tabelados. No Brasil eles se encontram na NBR 5413 - Iluminância de Interiores [8] que segue a tendência da norma internacional.

Por definição, iluminância é o limite da razão do fluxo luminoso $d\Phi$, incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para a área dA deste elemento, quando esta área tende para zero (Figura 2.9). Em termos mais simples é o fluxo luminoso incidente numa superfície por unidade de área. Em matemática:

$$E = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \Delta\Phi / \Delta A = d\Phi / dA$$

onde: $d\Phi$ é fluxo luminoso [lm]

dA é área [m^2]

E é a iluminância [lx]

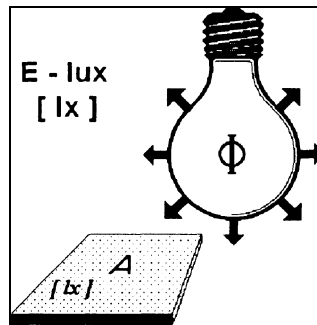


Figura 2.9 -A iluminância está relacionada com a densidade de fluxo [8].

Um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen.

2.2.7 – EXITÂNCIA LUMINOSA

Símbolo: M

Unidade: lúmen por metro quadrado [lm/m^2]

Segundo Costa [8], esta grandeza era denominada de emitância luminosa no passado e também consiste numa densidade de fluxo, pois é medida em lúmen por metro quadrado. À primeira vista pode ser confundida com a iluminância, visto que lux nada mais é do que lúmen por metro quadrado e isto pode levar a uma confusão. A diferença está no fato de que o lux é o iluminamento que incide sobre uma superfície (é a iluminação que atinge o plano de trabalho ou que é recebida pelo plano de trabalho).

A exitância é a densidade de fluxo luminoso emitida por uma superfície. Uma fonte luminosa produz um fluxo luminoso, cuja densidade é avaliada através da exitância. Admita-se que uma fonte luminosa componha-se de duas lâmpadas fluorescentes que produzem 1.700 lumens. Estas lâmpadas fluorescentes dirigem seu fluxo luminoso para uma superfície translúcida de 1 m^2 que absorve 85% deste. A densidade de fluxo luminoso que atinge esta superfície é 1.700 luxes (iluminância). A exitância será a densidade de fluxo que sai desta superfície, ou seja, leva em consideração a passagem do fluxo luminoso através do anteparo translúcido, sendo portanto, $1700 \times 0,85 = 1.445 \text{ lm}/\text{m}^2$. Desta forma a exitância está ligada com a superfície emissora da fonte luminosa. A definição rigorosa é semelhante a da iluminância, ou seja, é o limite da relação entre o fluxo luminoso $d\Phi$ que sai de um elemento

da superfície que contém o ponto dado, para a área dA deste elemento, quando esta tende a zero. Em matemática:

$$M = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \Delta \Phi / \Delta A = d\Phi / dA$$

Um lúmen por metro quadrado é a exitância luminosa de uma fonte de um metro quadrado de área, que emite um fluxo luminoso de um lúmen.

A diferença entre iluminância e a exitância reside na apresentação da unidade que, nesta última, é lúmen por metro quadrado [lm/m^2] (Figura 2.10) e no caso anterior lux.

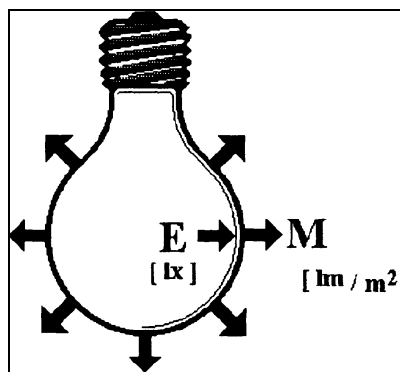


Figura 2.10 -A exitância é a densidade de fluxo luminoso que deixa a fonte [8].

2.2.8 – LUMINÂNCIA

Símbolo: L

Unidade: candela por metro quadrado [cd/m^2]

Segundo Costa [8], a luminância é um dos conceitos mais abstratos que a luminotécnica apresenta. É através da luminância que o homem enxerga. No passado denominava-se de brilhaça, querendo significar que a luminância está ligada aos brilhos. A diferença é que a luminância é uma excitação visual, enquanto que o brilho é a resposta visual; a luminância é quantitativa e o brilho sensitivo. É a diferença de zonas claras e escuras que permite que se aprecie uma escultura; que se aprecie um dia de sol, com a natureza

expondo todos os seus brilhos, frente a um dia nublado, cinzento. As partes sombreadas são aquelas que apresentam menor luminância em oposição às outras, mais iluminadas.

Por definição, a luminância é a razão da intensidade luminosa dI , incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para a área dA aparente vista pelo observador, quando esta área tende a zero. Área aparente significa que é a área projetada, aquela que é vista pelo observador. Por exemplo, quando a incidência da intensidade luminosa é normal à superfície esta área aparente é a própria área da superfície, caso contrário é proporcional ao cosseno do ângulo α (Figura 2.11).

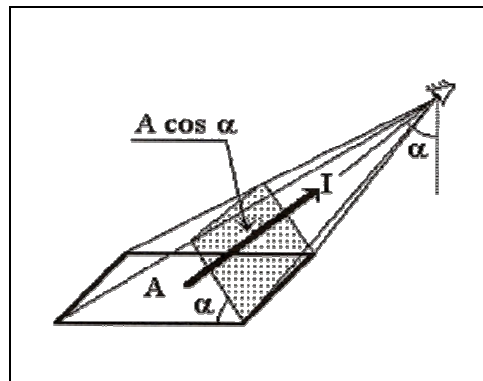


Figura 2.11 - A área aparente é a projeção da área vista pelo observador [8].

Em matemática:

$$L = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta A} \cdot \cos \alpha = dI/dA \cdot \cos \alpha$$

onde: A área da superfície [m²]
 α direção da observação [°]
 I intensidade luminosa [cd]
 L luminância [cd/ m²]

Observe-se que na definição de luminância não interessa se a superfície iluminada é emissora (exitância) ou receptora (iluminância), pois ambos os casos são contemplados. Na definição de luminância está implícita uma densidade de intensidade luminosa, numa direção específica (Figura 2.12), produzida por uma exitância.

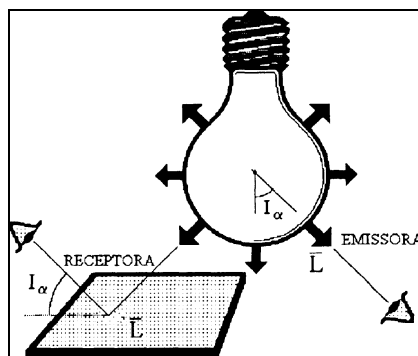


Figura 2.12 - A luminância deve ser definida segundo uma direção e a superfície pode ser receptora ou emissora [8].

Nos cálculos de iluminação é muito empregada também a iluminância média de uma superfície ou de uma área emissora.

2.2.9 – EFICIÊNCIA LUMINOSA

Símbolo: η

Unidade: lúmen por watt [lm/W]

Segundo Costa [8], esta grandeza é extremamente simples de ser compreendida e, também, extremamente importante para a conservação de energia. Baseia-se numa relação entre potência de saída versus potência de entrada, ou seja, corresponde à definição física de rendimento, mas como trata com unidades de potência diferentes, sua denominação básica é eficácia. Como se refere a luz, recebe, adicionalmente, a palavra luminosa. Então, uma fonte luminosa recebe uma potência elétrica expressa em watts e a transforma numa potência luminosa, expressa em lumens.

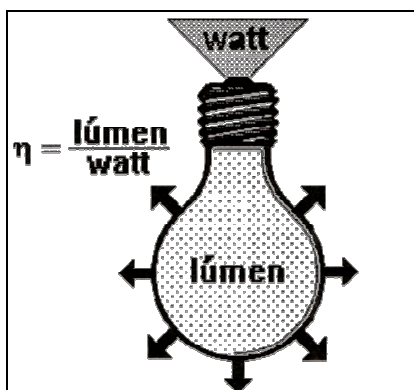


Figura 2.13 – A eficiência luminosa de uma fonte representa produtividade [8].

A eficiência luminosa de uma fonte é o quociente entre o fluxo luminoso emitido em lumens, pela potência consumida expressa em watts. É uma grandeza de compreensão extremamente simples, que associada com outras permite a seleção de fontes luminosas eficientes e adequadas à tarefa visual (Figura 2.13).

As lâmpadas se diferem entre si não só pelos diferentes fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para poder compará-las, é necessário que se saiba, quantos lúmens são gerados por watt absorvido. A essa grandeza dá-se o nome de Eficiência luminosa (Figura 2.14).

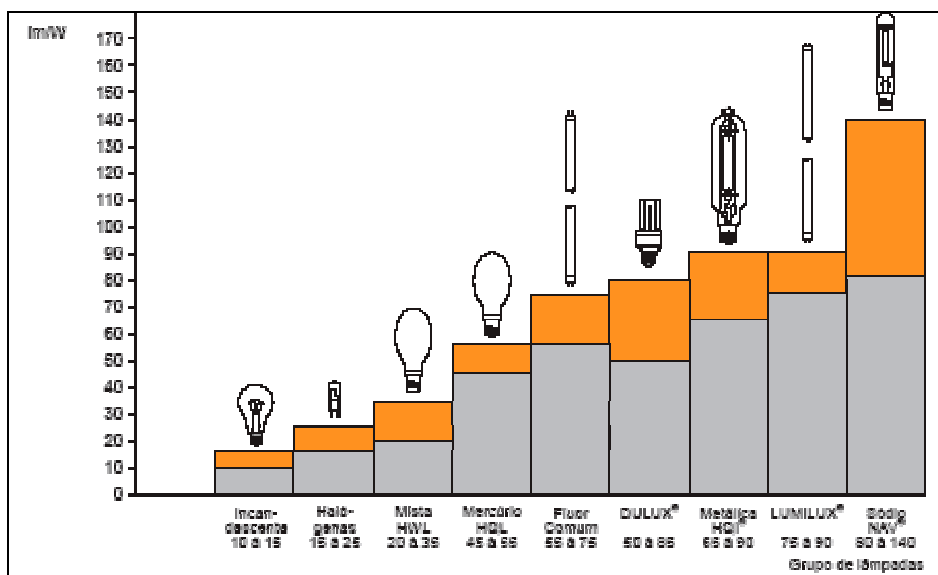


Figura 2.14 – Eficiência luminosa das lâmpadas elétricas [15].

2.2.10 – TEMPERATURA DA COR CORRELATA

Símbolo: TCC

Unidade: kelvin [K]

Em aspecto visual, admite-se que é bastante difícil a avaliação comparativa entre a sensação de tonalidade de cor de diversas lâmpadas. Para estipular um parâmetro, foi definido o critério temperatura de cor (Kelvin) para classificar a luz. Assim como um corpo metálico que, em seu aquecimento, passa desde o vermelho até o branco, quanto mais claro o branco (semelhante à luz diurna ao meio-dia), maior é a Temperatura de Cor (aproximadamente 6500K). A luz amarelada, como de uma lâmpada incandescente, está em torno de 2700 K

(Figura 2.15). 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.



Figura 2.15 – Temperatura de Cor [15].

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.

2.2.11 – ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR

Símbolo: IRC

Unidade: por cento [%]

Os objetos iluminados podem nos parecer diferentes, mesmo se as fontes de luz tiverem idêntica tonalidade. As variações de cor dos objetos iluminados sob fontes de luz diferentes podem ser identificadas através de um outro conceito, reprodução de cores, e de sua escala qualitativa Índice de Reprodução de Cores (Ra ou IRC). Este índice quantifica a fidelidade com que as cores são reproduzidas sob uma determinada fonte de luz.

O mesmo metal sólido, quando aquecido até irradiar luz, foi utilizado como referência para se estabelecer níveis de reprodução de cor. Define-se que o IRC neste caso seria um número ideal igual 100.

Sua função é como dar uma nota (de 1 a 100) para o desempenho de outras fontes de luz em relação a este padrão (Figura 2.16).

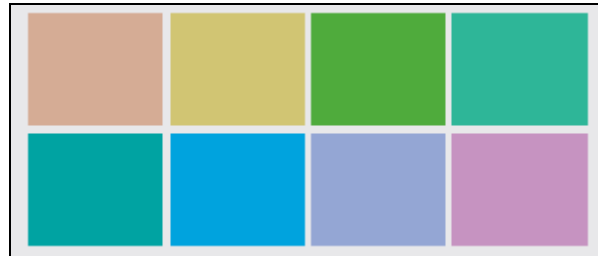


Figura 2.16 – Avaliação do IRC [15].

A lâmpada incandescente iluminando a cena da esquerda da Figura 2.17 apresenta um IRC de 100. Já a fluorescente tubular 3000K iluminando a cena da direita apresenta um IRC de 85. (As fotos foram ajustadas para compensar variações no filme e na impressão).

IRC = 85

IRC = 100



Figura 2. 17 - Variação da Reprodução de Cor [5].

Portanto, quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão (sob a radiação do metal sólido) menor é seu IRC. Com isso, explica-se o fato de lâmpadas de mesma temperatura de cor possuírem índice de reprodução de cor diferentes.

2.3 – FATORES DE INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ILUMINAÇÃO

2.3.1 – NÍVEL DE ILUMINAÇÃO ADEQUADA

Segundo COSTA [8], a definição do nível de iluminação adequada a uma tarefa visual é extremamente importante. Primeiro porque é o passo inicial para efetuar um projeto de iluminação ou para verificar se o nível é compatível com a tarefa realizada. Segundo, porque um dos métodos de cálculo de projeto, que em termos gerais denomina-se aqui de fluxo luminoso, a sua definição desempenha um papel importante. Simplificadamente, o produto entre a iluminância média desejada, a área do ambiente, seja interno ou externo, e o seu rendimento conduz ao valor do fluxo luminoso necessário.

O nível adequado de iluminação é preceituado por norma internacional e adotado pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), através da NBR 5413. Seus valores conduzem aos apresentados na Tabela 2.2 e são distribuídos em três faixas (A, B e C), tendo cada faixa três conjuntos de valores cada – mínimo, médio e máximo, cuja seleção é realizada por meio de uma ponderação de fatores. A norma americana IESNA (Illuminating Engineering Society of North América) para iluminação, similarmente, divide-os em nove categorias de A a I, cada uma destas categorias apresenta três níveis para a iluminância: mínimo, médio e máximo. A comparação das normas permite observar que se equivalem (Tabela 2.2).

FAIXA ABNT	CATEG. IESNA	ILUMINÂNCIA [lux]			TIPO DE ATIVIDADE (tarefa visual)
		mín	med	máx	
A	A	20	30	50	Áreas públicas com corredores escuros.
	B	50	75	100	Orientação simples para permanência curta (exemplos: corredores, depósitos).
	C	100	150	200	Recintos não usados para trabalho onde as tarefas visuais são ocasionalmente executadas (exemplos: salas de espera, mesas de recepção).
B	D	200	300	500	Tarefas com requisitos visuais limitados, onde o contraste é elevado ou o objeto de grande tamanho (exemplo: escrita à tinta, datilografia, material impresso, trabalho bruto de maquinaria, auditórios).
	E	500	750	1.000	Tarefas com requisitos visuais normais, contraste médio, objetos de tamanho médio (exemplos: escrita com lápis macio, material impresso de reprodução pobre, trabalho médio de maquinaria, escritórios).
	F	1.000	1.500	2.000	Tarefas com requisitos especiais, baixo contraste, objetos de tamanho pequeno (exemplos: gravação manual, escrita com lápis duro em papel de baixa qualidade, inspeção, trabalho fino de maquinaria).
C	G	2.000	3.000	5.000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, baixo contraste, objetos de tamanho muito pequeno (exemplos: inspeção difícil trabalho industrial muito fino, eletrônica de tamanho pequeno).
	H	5.000	7.500	10.000	Tarefas visuais muito exatas, muito prolongadas (exemplos: montagem de micro-eletrônica, montagem de relojoaria, costura).
	I	10.000	15.000	20.000	Tarefas visuais muito especiais, contraste baixíssimo (exemplos: procedimentos cirúrgicos, atelier de alta costura).

Tabela 2.2 – Tabela de Especificações para iluminância [8].

A obtenção destes níveis de iluminância adequados é subjetivo, sendo obtido mediante pesquisas. Durante essa atividade, um questionário procura da forma mais isenta possível conhecer a preferência do usuário quanto ao nível de iluminação a ser usado. Os valores uma vez tabulados são examinados por métodos estatísticos que permitem determinar a iluminância a ser recomendada. Vale mencionar que esta atividade de pesquisa não é tão simples assim. Além de necessitar de salas especiais, constata-se que o desempenho visual está estritamente ligado e vinculado à idade, ao estado psicológico dos indivíduos, às dimensões do ambiente, a sua decoração e ao tipo de tarefa a ser realizada. Um nível baixo de iluminação produz cansaço visual, por outro lado um nível elevado de iluminação provoca irritação ao olho. No geral, para atividades comuns, uma iluminação de 500 lux é perfeitamente satisfatória. Em museus, onde existem obras de arte que podem se danificar com o tempo, devido a presença de radiações ultravioletas e infravermelhas, o valor preconizado é de 50 lux. Modernamente, a tendência é que se procure uma iluminação geral até no máximo 1000 lux, sendo a excedente complementada por fontes que suplementem a

iluminação do campo de trabalho. Entretanto, deve ser observado que a relação máxima entre iluminação suplementar e a geral não seja inferior a um décimo. Por exemplo, se uma atividade visual tem no seu campo de trabalho 1000 lux, o ambiente geral da sala deva ser de 1000 lux. Com isto, evita-se que o ambiente seja irritante aos demais usuários, que não estejam necessitando daquele valor no seu campo visual. Preconiza-se que o mínimo aceitável em ambientes internos seja de 200 lux e que a diferença entre o valor máximo e o máximo preconizado em áreas adjacentes seja de um quinto. Como sempre, tudo depende da tarefa visual e existem exceções como por exemplo no caso dos museus. Portanto, se uma sala apresentar uma iluminância de 750 lux, o corredor deverá possuir no mínimo 150 lux. Importante também lembrar que os níveis de iluminância sofrem uma avaliação subjetiva, devido a luminância. À noite, numa via pública, uma iluminância de 100 lux é muito mais significativa que no interior de um recinto. O que parece ser muito iluminado num caso, torna-se escuro no outro. Em iluminação, técnica e subjetividade são simultâneos e devem ser cuidadosamente medidos pelo projetista em iluminação.

2.3.2 – LIMITAÇÃO DE OFUSCAMENTO

De acordo com COSTA [8], o ofuscamento está ligado com a sensação de claridade ou brilho, podendo ser direto ou refletido. Por ofuscamento direto entende-se aquele em que a fonte luminosa incide diretamente na retina, como por exemplo quando se olha diretamente para o sol ou para uma fonte de luz artificial. Por ofuscamento refletido, quando o fundo da tarefa visual dirige raios luminosos à retina, reproduzindo uma imagem por reflexão. Neste mesmo processo ainda encontra-se o ofuscamento, que dá uma sensação de claridade na retina, sem enfraquecer a visão dos objetos, como por exemplo quando se olha para uma superfície branca profusamente iluminada pelo sol. O ofuscamento pode ser verificado experimentalmente quando tem-se a reflexão de uma fonte luminosa sobre a imagem da televisão ou nos monitores de vídeo. Tecnicamente, o ofuscamento nem sempre consegue ser totalmente evitado, mas sim atenuado. Para o caso de ofuscamento direto, as luminárias podem apresentar dispositivos anti ofuscantes que permitem definir a sua qualidade, em função de um nível de iluminação determinado. Como nem sempre é possível saber de antemão a posição do observador em relação à tarefa visual, o ofuscamento indireto nem sempre é possível de ser evitado, mas a mudança da posição do observador em relação à fonte luminosa é uma alternativa em geral factível e barata.

Ao projetista de iluminação convém saber que, independente dos tipos de ofuscamento existente, o enquadramento se faz necessário nos dois casos mencionados: direto e refletido, e que a visão poderá ser prejudicada pela formação de um véu sobre o objeto. A solução sempre é examinar com cuidado a tarefa visual e adotar um modelo de luminária com qualidade de luz definida por meio de normas internacionais.

2.3.3 – PROPORÇÃO HARMONIOSA ENTRE LUMINÂNCIAS

Acentuadas diferenças entre as luminâncias de diferentes planos causam fadiga visual devido ao excessivo trabalho de acomodação da vista, ao passar por variações bruscas de sensação de claridade. Para evitar esse desconforto, recomenda-se [15] que as luminâncias de piso, parede e teto se harmonizem numa proporção de 1:2:3 (Figura 2.18), e que no caso de uma mesa de trabalho, a luminância desta não seja inferior a 1/3 da do objeto observado, tais como livros e etc.

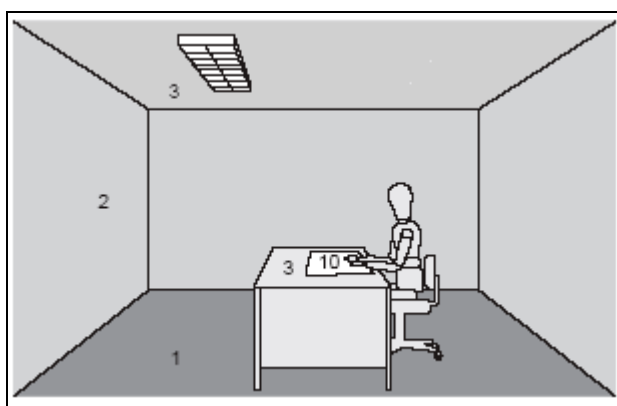


Figura 2.18 - Proporção Harmoniosa entre Luminâncias [15].

2.3.4 – EFEITO LUZ E SOMBRA

As sombras estão ligadas à percepção dos objetos. Poderão ser desejadas ou não. Serão desejadas quando há necessidades de salientar os relevos, como em esculturas, fachadas e em certos casos de inspeção de qualidade de superfícies. Na atividade normal, como por exemplo no trabalho em escritórios, as sombras poderão ser inconvenientes e até impedirão a visão correta para a execução da tarefa visual. Três casos são possíveis: sombras nítidas,

quando o objeto está iluminado por uma única fonte; sombras múltiplas, quando existem várias fontes luminosas, cada uma produzindo uma sombra nítida em direções diferentes; sombras suaves, quando a iluminação é distribuída de tal forma que nenhuma fonte luminosa é predominante. As sombras também são utilizadas em efeitos cênicos, como por exemplo, quando uma lanterna acesa é colocada embaixo do queixo e a fisionomia da pessoa fica com um aspecto fantasmagórico. Portanto, nos projetos de iluminação que não requeiram condições especiais a serem obedecidas com relação a tarefa visual, a luz sempre deverá ser dirigida de cima para baixo.

2.3.5 – REPRODUÇÃO DE CORES

Segundo COSTA [8], o uso da cor em iluminação, aliado com a reprodução de cores das fontes luminosas, desempenha um papel preponderante para o indivíduo. Quando a iluminação era de origem incandescente a reprodução de cores era igual em qualquer ambiente, mas a introdução de novas fontes luminosas baseadas em outro princípio que não o incandescente, trouxe problemas para os projetistas. A solução foi adotar um índice baseado numa iluminação incandescente padrão. Este índice é conhecido internacionalmente como IRC (Índice de Reprodução de Cor).

A cor de um objeto é determinada pela reflexão de parte do espectro de luz que incide sobre ele. Isso significa que uma boa reprodução de cores está diretamente ligada à qualidade da luz incidente, ou seja, à equilibrada distribuição das ondas constituintes do seu espectro. É importante notar que assim como para iluminância média, existem normas que regulamentam o uso de fontes de luz com determinados índices dependendo da atividade a ser desempenhada no local.

2.3.6 – TONALIDADE DA COR DA LUZ

Um dos requisitos para o conforto visual é a utilização da iluminação para dar ao ambiente o aspecto desejado. Superfícies verdes e azuis parecem mais afastadas, ao passo que vermelhas e amarelas parecem mais próximas. Vermelho, laranja e amarelo são consideradas cores quentes, pois desenvolvem dinamismo, vitalidade, excitação e movimento. Já o verde, o azul e o violeta são cores frias, dando uma sensação de frescor, descanso e paz. Pessoas nervosas e as que apresentam um temperamento instável ou sujeitas a tensão emocional tendem a piorar em presença de cores quentes, por outro lado estas mesmas cores são adequadas para os deprimidos, angustiados e tristes por natureza. Os valores claros das cores quentes são associados a feminilidade, delicadeza e amabilidade como é o caso da cor rosa; os escuros sugerem riqueza e poder. Os objetos ficam mais reduzidos e distanciados com cores de radiação curtas (frias); ao passo que as impressões de relevo e de proximidade são acentuadas com as radiações longas (quentes). Dois objetos iguais numa distância de seis metros, sendo um vermelho e outro azul, parecerá mais próximo em cerca de trinta centímetros do objeto vermelho. Da mesma forma, objetos pintados com cores frias ou claras parecerão mais leves do que os pintados com cores quentes ou escuras. Ao profissional de iluminação cabe saber que sensações de aconchego, dinamismo ou palidez, euforia ou tristeza e estímulo podem ser provocados quando se combinam a correta tonalidade de cor da luz de tal forma que se enquadre com a finalidade do ambiente.

2.3.7 – AR CONDICIONADO E ACÚSTICA

O calor gerado pela iluminação não deve sobrecarregar a refrigeração artificial do ambiente. Há um consenso que estabelece que um adulto irradia o calor equivalente a uma lâmpada incandescente de 100 W. Portanto, fontes de luz mais eficientes colaboram para o bem estar, além de se constituírem em menos carga térmica ao sistema de condicionamento de ar. O sistema de iluminação pode comprometer a acústica do ambiente através da utilização de equipamentos auxiliares (reatores e transformadores eletromagnéticos). Uma solução bastante eficiente, com ausência total de ruídos, é o emprego de reatores eletrônicos nas instalações.

CAPITULO III – EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

3.1 - INTRODUÇÃO

Os instrumentos utilizados para medições fotométricas consistem, em geral, de um detector, um meio para condicionar ou amplificar o sinal do detector, um método para mostrar ou armazenar a medição, e, possivelmente, um elemento ou sistema ótico para detectar a quantidade a ser medida.

O equipamento para medição fotométrica não passa de um radiômetro que tem a resposta do detector de acordo com a curva $V(\lambda)$ (Visão fotópica). Um radiômetro mede grandezas radiométricas. Quando adaptado à curva $V(\lambda)$ medirá grandezas fotométricas. Temos aí um fotômetro. Existem também fotômetros com resposta de acordo com a curva $V'(\lambda)$ (Visão escotópica).

3.2 - O LUXÍMETRO

Muitos instrumentos modernos para medir iluminância e quantidades relacionadas fazem uso do efeito fotoelétrico descoberto por Hertz em 1887. Existem quatro tipos básicos de efeitos fotoelétricos: fotoemissivo, junção fotocondutiva, fotorresistor (photoconductive bulk) e fotovoltaico.

O efeito fotoemissivo consiste na remoção, a frio, de elétrons da superfície de um sólido, causada pela incidência de energia luminosa ou outra forma de energia eletromagnética. A célula fotoemissiva consta de um catodo frio, em forma de semi-cilindro, recoberto de material fotoemissivo (potássio, césio) e de um anodo constituído por uma haste fina colocada em frente ao catodo. O conjunto é encapsulado em bulbo de vidro, no vácuo ou em atmosfera rarefeita de gás inerte. Os dois eletrodos são ligados em série com uma fonte de tensão contínua e um resistor de carga (R_L) (Figura 3.1). Fotomultiplicadores operam nesse modo, eles convertem sinais luminosos de um pulso de cintilação em sinais elétricos. Esses sinais luminosos consistem em algumas centenas de fótons e são convertidos em pulsos de corrente sem a adição de grandes quantidades de ruídos. Sua estrutura consiste basicamente de uma camada fotosensível, denominada fotocatodo acoplada a uma estrutura multiplicadora de elétrons.

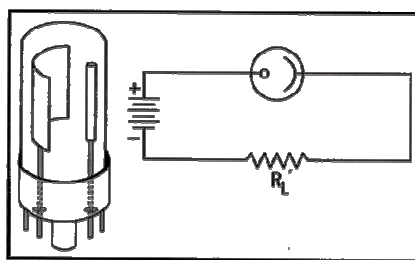


Figura 3.1 – Célula Fotoemissiva [12].

O efeito fotocondutivo é manifestado por certos dispositivos semicondutores. O fenômeno básico é que a condutividade do material é alterada drasticamente pela radiação incidente. A energia radiante causa a quebra de ligações covalentes (os átomos são mantidos em suas posições por ligações) dentro do material semicondutor, criando assim muito mais elétrons livres e buracos do que aqueles gerados normalmente por efeito térmico, os pares elétron-buraco que, ao se recombinarem, provocam a difusão e movimentação dos demais portadores, ocasionando assim uma corrente elétrica, que aumenta proporcionalmente com a intensidade da luz.

Existem dois tipos de dispositivos fotocondutivos. Dispositivos de junção fotocondutiva, tal como um fotodiodo ou um fototransistor, são feitos de germânio ou silício. Estes dispositivos exibem uma resposta muito rápida, mas de sensibilidade relativamente baixa (mA/lx).

O fotorresistor (Light Dependent Resistor - LDR) é um dispositivo semicondutor de dois terminais, cuja resistência varia linearmente com a intensidade de luz incidente. Utilizam cristais, tal como o sulfeto de cádmio, que são dopados com impurezas de Prata, Antimônio ou Índio.

Quando o fóton tem energia suficiente para quebrar a ligação elétron-buraco, um elétron torna-se livre, podendo fluir pelo circuito. A energia luminosa desloca elétrons da camada de valência para a de condução (mais longe do núcleo), aumentando o número destes, o que diminui a resistência e aumenta a condutividade.

Os fotorresistores têm memória, isto é, a sua resistência atual depende da intensidade e duração de uma exposição à radiação ocorrida anteriormente. A resistência ôhmica do LDR no escuro chega a ser milhares de vezes maior que sua resistência quando iluminado com 1000 lux e podem variar de $2\text{M}\Omega$ (na absoluta escuridão) até 10Ω (em ambiente altamente

iluminado). Uma das particularidades do LDR é sua capacidade de controlar diretamente energia suficiente para operar relés tanto em circuitos de corrente contínua como de corrente alternada.

O quarto tipo de efeito fotoelétrico, que é utilizado em dispositivos para medição de iluminância, é o efeito fotovoltaico. Uma célula fotovoltaica típica é mostrada na Figura 3.2.

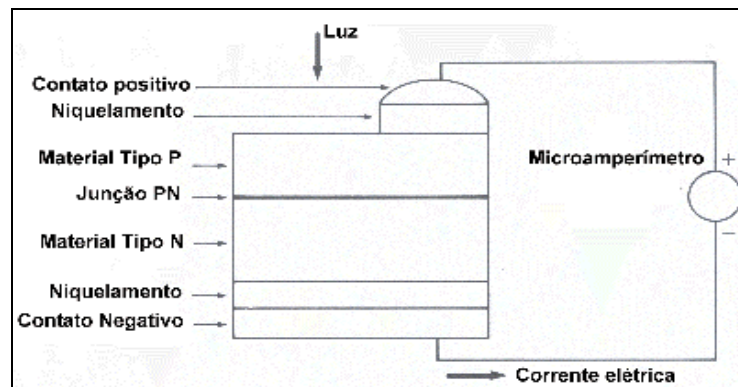


Figura 3.2 - Fotocélula de silício [14].

O material tipo P de Silício é dopado com o Boro; o tipo N com Arsênio. Quando a luz incide sobre o material tipo P, é gerado um excesso de pares elétron-buracos, os portadores minoritários fotoestimulados a uma certa distância da junção podem, por difusão, atingir a zona de depleção antes de se recombinarem, sendo acelerados pelo campo elétrico para o outro lado onde se tornam majoritários. Desta forma cria-se uma corrente de portadores minoritários, chamada fotocorrente.

O desbalanceamento de portadores de cargas cria uma tensão nos terminais do diodo. Esta é a tensão fotovoltaica e ela é da ordem de 0,5V para o silício e de 0,1V para o Germânio. A característica volt-ampère de uma fotocélula típica de silício é mostrada na Figura 3.3.

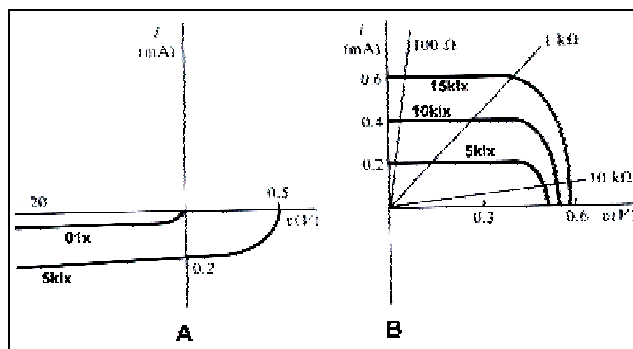


Figura 3.3 - Característica elétrica da fotocélula [14].

No terceiro quadrante da Figura 3.3a, onde a tensão e a corrente são negativas, a fotocélula atua no modo fotocondutivo. Neste quadrante é necessária uma fonte externa (bateria) para operar o dispositivo. No quarto quadrante da Figura 3.3a, com corrente negativa e voltagem positiva, ele opera no modo fotovoltaico e não é necessária uma bateria. Esta última situação é utilizada quando a fotocélula é utilizada para medir iluminância.

O quarto quadrante da Figura 3.3a é invertido e ampliado na Figura 3.3b. Vemos que a tensão de saída para circuito aberto (alta impedância) varia logarithmicamente com o nível de iluminância. Seria o equivalente a uma carga de alta resistência ($10 \text{ M}\Omega$). Por outro lado, a corrente de curto-circuito varia linearmente com o nível de iluminância, assim como a corrente para cargas de baixa resistência (100Ω).

Esta última condição é utilizada num luxímetro (medidor de iluminância) (Figura 3.4), isto é, a saída de corrente no amperímetro (baixa resistência) é diretamente proporcional ao nível de iluminância, e assim, desde que a deflexão do microamperímetro é proporcional a corrente que passa por ele, podemos calibrar a escala do microamperímetro diretamente em lux.



Figura 3.4 - Luxímetro

O primeiro medidor de luz com célula fotovoltaica foi desenvolvido pela Weston Instrument Company em 1931 e levou a indústria da iluminação a ter os primeiros medidores de iluminância portáteis e medidores de exposição fotográficas. Os medidores modernos são mais sofisticados que seus antecessores, mas utilizam o mesmo princípio. O Selênio que era utilizado em fotocélulas até bem pouco tempo deu espaço ao Silício. Este último é bem mais linear e menos dependente da temperatura. Nos medidores atuais o microamperímetro também foi trocado por amplificadores com componentes eletrônicos e por mostradores digitais.

A maioria dos medidores contemporâneos tem cor e co-seno corrigido. Vamos ver o que significa isto: na Figura 3.5 temos uma comparação entre uma fotocélula de selênio sem correção, uma corrigida e o olho humano.

O problema é que nós precisamos de um medidor de iluminância que avalie o fluxo luminoso da mesma forma que o olho humano. Isto significa que a resposta da fotocélula deve ter uma resposta o mais próxima possível da resposta do olho humano (curva $V(\lambda)$). Uma fotocélula não corrigida tem uma resposta muito maior que a do olho humano nas faixas de comprimentos de onda do violeta-azul e do vermelho-laranja.

As fotocélulas respondem também na região do ultravioleta. O que os fabricantes fazem é projetar um filtro que adapta a resposta da fotocélula a resposta do olho humano (Figura 3.5).

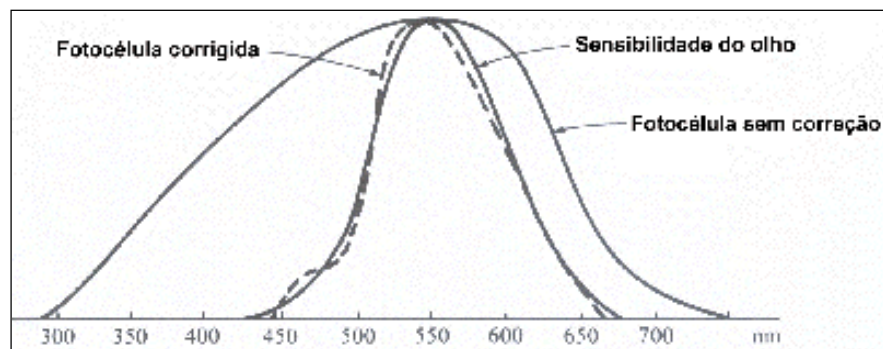


Figura 3.5 - Correção de cor.

Fonte [14].

Outro erro associado à medição de iluminância é o erro devido ao co-seno do ângulo de incidência. Os instrumentos que não têm correção de co-seno, em geral têm uma placa de vidro cobrindo a fotocélula. Os raios de luz que incidem em ângulos próximos de 90°, em

relação à normal, são refletidos e não atingem a fotocélula, gerando assim um erro. Os instrumentos que têm co-seno corrigido em geral têm esta placa de vidro trocada por um difusor de plástico branco, projetado de forma que os raios que incidem de forma rasante são dirigidos à fotocélula.

A Figura 3.6 ilustra o resultado da correção de co-seno.

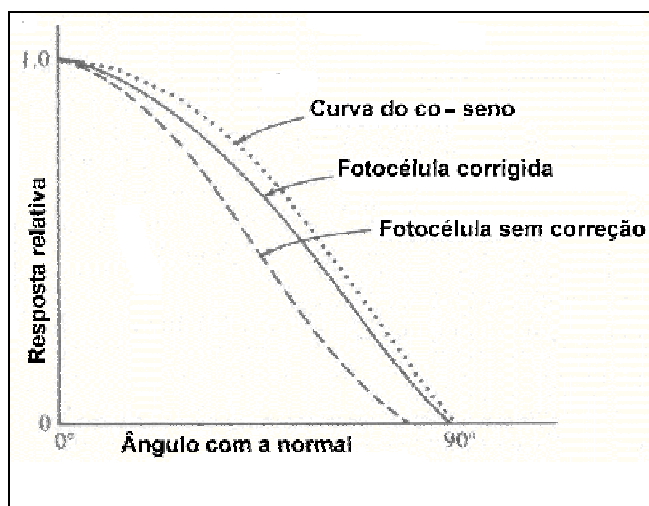


Figura 3.6 - Correção de co-seno [14].

Existem luxímetros com fotocélula intercambiável e com fotocélula acoplada. No tipo com fotocélula acoplada, a fotocélula está rigidamente ligada ao corpo do instrumento e não pode ser destacada.

Para o caso de fotocélula intercambiável, existe um meio de destacarmos a fotocélula do corpo do instrumento. Normalmente se tem um cabo de ligação da fotocélula ao luxímetro que permite fazer medições à distância. Este tipo de instrumento evita que o operador produza sombra sobre a fotocélula durante as medições: pode se colocar a fotocélula no local a ser medido e ficar a certa distância fazendo a medição.

3.3 - SISTEMAS DE MEDIÇÃO FOTOMÉTRICA: EQUIPAMENTOS BÁSICOS

3.3.1 - BANCO ÓTICO

Consta de dois tubos ou barras horizontais, paralelos e graduados, sobre os quais podem se deslocar (sobre pequenas estruturas providas de rodas) os equipamentos sob teste e os instrumentos de medida. Os bancos óticos mais comuns possuem 5m de comprimento sendo instalados em câmara escura (Figura 3.7).

Para a determinação da intensidade luminosa de uma lâmpada, em uma dada direção, é feita uma comparação dessa lâmpada com uma lâmpada-padrão de intensidade luminosa devidamente aferida. A lâmpada-padrão utilizada deve ter, de preferência, uma intensidade luminosa pouca superior à presumível intensidade luminosa da lâmpada sob teste, e ambas devem ser do mesmo tipo.

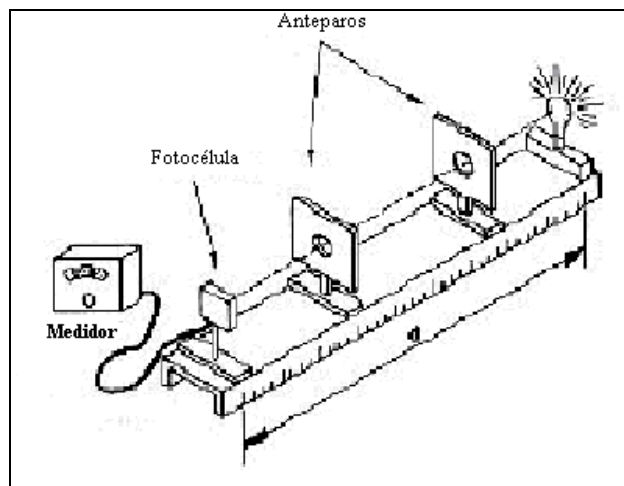


Figura 3.7 – Banco Ótico [12]

3.3.2 – GONIOFOTÔMETRO

O goniofotômetro ou goniômetro consta de uma estrutura provida de dois limbos¹ graduados, que permite a rotação do equipamento sob teste segundo um eixo horizontal ou segundo um eixo vertical (Figura 3.8).

Existem vários tipos de goniofotômetros. Vamos destacar, o goniofotômetro composto por um goniômetro e um detector simples. Cada tipo tem suas vantagens e desvantagens. A significância das vantagens está relacionada ao espaço disponível, necessidades de polarização e considerações econômicas.

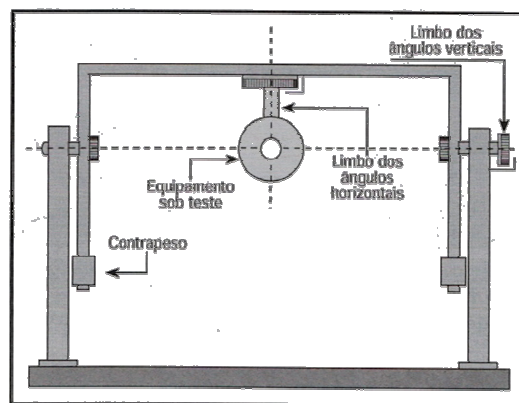


Figura 3.8 – Goniofotômetro [12]

No goniofotômetro e um detector simples, a fonte de luz é montada no goniômetro, que permite que ela seja girada em torno do eixo vertical e do horizontal. A iluminância é

¹ Rebordo do disco de um instrumento de medição, sobre o qual é marcada a graduação angular.

medida por uma fotocélula que fica numa posição fixa a uma certa distância do goniômetro (Figura 3.9). Desta forma, cada leitura será referenciada a cada posição da luminária, identificada por meio de duas coordenadas, que são os respectivos ângulos de rotação.

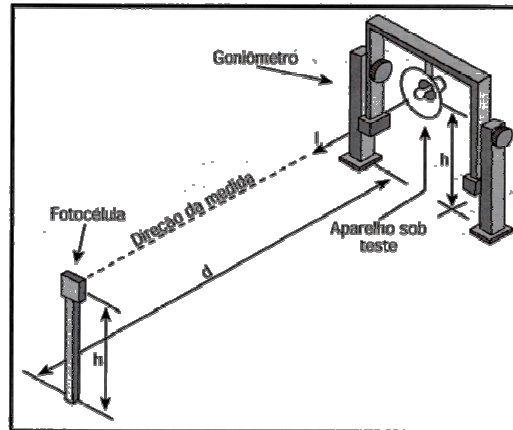


Figura 3.9 – Goniômetro tipo A e um detector simples [12].

Existem diversos tipos de goniômetros compostos por um goniômetro e um detector simples. Cada um deles pode servir melhor a um determinado tipo de aplicação. Abordaremos três tipos: A, B e C. Este tipo de classificação é utilizado pela Illuminating Engineering Society of North América (IESNA).

Goniômetro Tipo A

Na Figura 3.10a podemos ver o esquema de funcionamento do goniômetro tipo A. Este tipo de goniômetro tem um eixo fixo, que é o eixo horizontal, sobre o qual temos um eixo móvel que é o vertical. O eixo vertical acompanha a rotação do eixo horizontal, mudando sua direção conforme a rotação do outro eixo. Desta forma, obtemos a malha descrita na Figura 3.10b e o sistema de planos da Figura 3.10c. Por analogia ao globo terrestre, podemos dizer que a rotação do eixo horizontal produz os meridianos e a rotação do eixo vertical produz as latitudes.

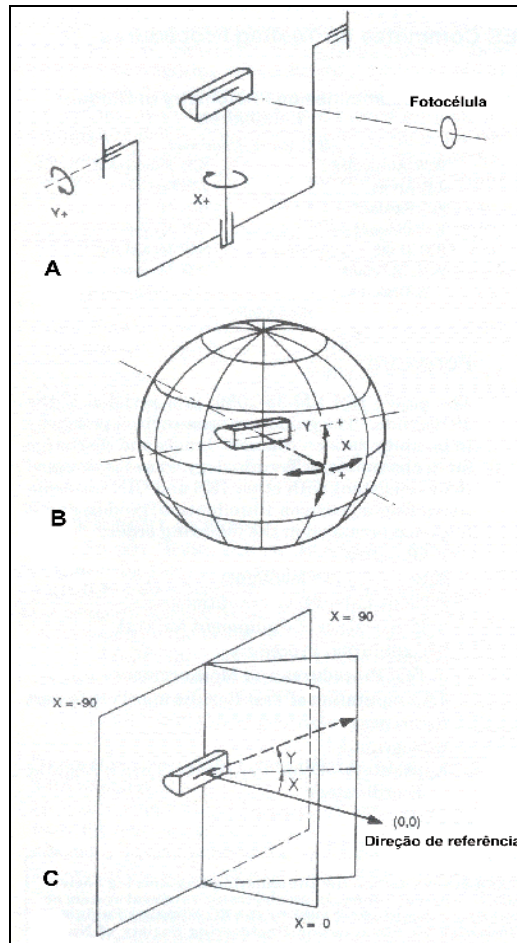


Figura 3.10 - Goniofotômetro Tipo A: a) Goniofotômetro; b) representação na esfera; c) sistema de coordenadas [14].

Goniofotômetro Tipo B

Na Figura 3.11a podemos ver o esquema de funcionamento do goniofotômetro tipo B. Este tipo de goniofotômetro tem um eixo fixo, o que é o eixo vertical, sobre o qual temos um eixo móvel que é o horizontal. O eixo horizontal acompanha a rotação do eixo vertical, mudando sua direção conforme a rotação do outro eixo. Desta forma obtemos a malha descrita na Figura 3.11b e o sistema de planos da Figura 3.11c. Por analogia ao globo terrestre, podemos dizer que a rotação do eixo vertical produz os meridianos e a rotação do eixo horizontal produz as latitudes.

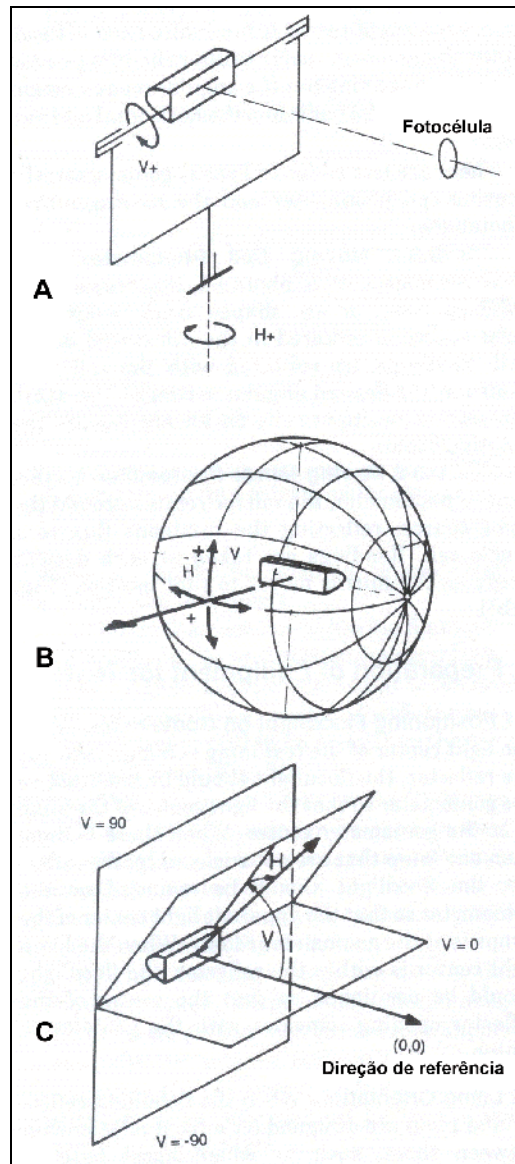


Figura 3.11 - Goniofotômetro Tipo B: a) Goniofotômetro; b) representação na esfera; c) sistema de coordenadas [14].

Goniofotômetro Tipo C

Na Figura 3.12a podemos ver o esquema de funcionamento do goniofotômetro tipo C. Este tipo de goniofotômetro com fotocélula ou espelho que se movem em torno de um eixo horizontal. Ele é caracterizado por ter a luminária suspensa numa orientação fixa no espaço,

movendo-se só em torno de um eixo vertical. A fotocélula (ou um espelho) é girada em torno da luminária num plano vertical. Desta forma obtemos a malha descrita na Figura 3.12b e o sistema de planos da Figura 3.12c. Por analogia ao globo terrestre, podemos dizer que a rotação do eixo vertical produz os meridianos e a rotação do eixo horizontal produz as latitudes.

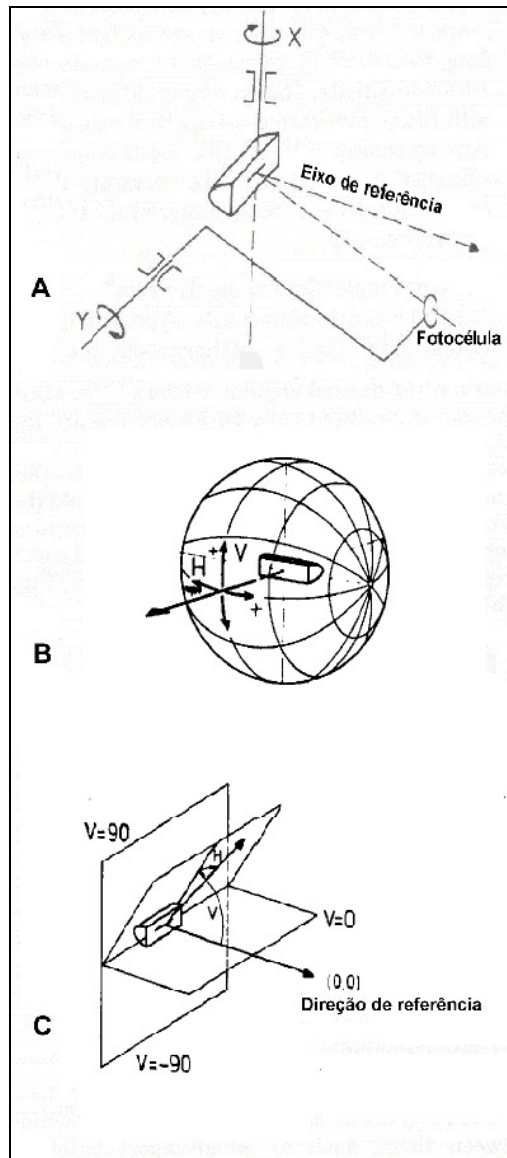


Figura 3.12 - Goniômetro Tipo C: a) Goniômetro; b) representação na esfera; c) sistema de coordenadas[14].

3.3.3 - GONIOFOTÔMETRO COM VÁRIAS FOTOCÉLULAS FIXAS

Neste tipo de goniofotômetro (Figura 3.13) existem várias fotocélulas que ficam dispostas em ângulos determinados, de modo que, nesse ângulo, a incidência de luz na fotocélula seja normal. Todas as fotocélulas deverão apresentar as mesmas características de medição.



Figura 3.13 - Goniofotômetro com fotocélulas fixas [14].

3.3.4 - GONIOFOTÔMETRO COM FOTOCÉLULA QUE SE MOVE EM TORNO DA FONTE

Neste tipo de goniofotômetro (Figura 3.14), a fotocélula move-se sobre um hemisfério por meio de um trilho, mantendo-se fixa a luminária. As intensidades luminosas serão medidas segundo os ângulos deste hemisfério, definidos através de longitudes e latitudes.

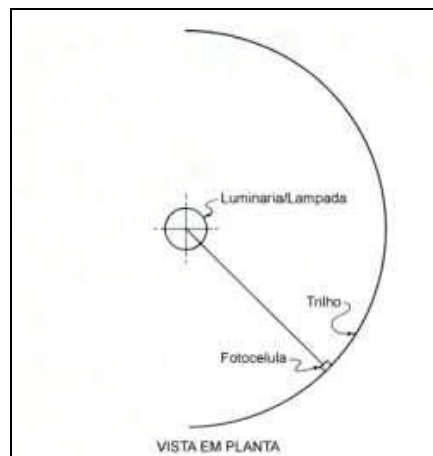


Figura 3.14 - Goniofotômetro com fotocélula móvel [14].

3.3.5 - GONIOFOTÔMETRO COM ESPELHO MÓVEL

Este goniofotômetro é do Tipo C (Figura 3.15). A fonte luminosa gira sobre seu eixo e percorre um movimento circular, mediante um braço fixo a mesma. Um espelho inserido no trajeto da radiação direciona-a para a fotocélula, que permanece estacionária. A radiação ao ser refletida pelo espelho faz com que as dimensões da sala tornem-se menores, pois com o desvio do trajeto a distância do espelho à fotocélula será menor. O espelho se move de tal forma que a fonte pode ser colocada a qualquer ângulo da fotocélula.

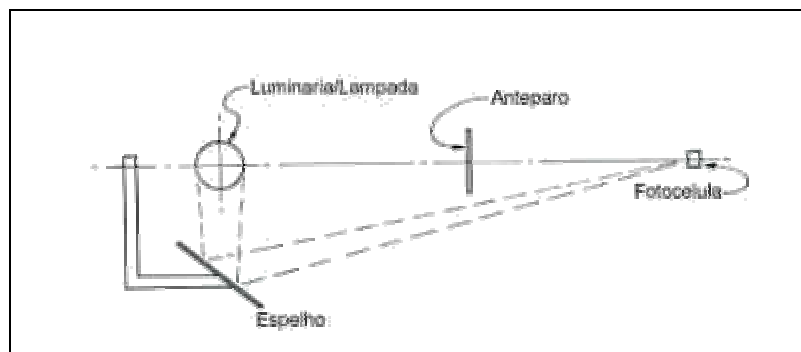


Figura 3.15 - Goniofotômetro com espelho móvel [14].

Existem outros tipos de goniofotômetros além destes apresentados. Há diversas maneiras de se construir um goniofotômetro. Foram Apresentados os tipos mais comuns.

3.4 - DETERMINAÇÃO DE FLUXO LUMINOSO

Na maioria das vezes, toda fotometria de lâmpada ou de luminária passa por um levantamento de fluxo luminoso. Abordaremos a utilização da esfera integradora ou esfera integradora de Ulbricht na determinação de fluxo luminoso, que é outro importante equipamento utilizado em fotometria.

3.4.1 - A ESFERA INTEGRADORA DE ULBRICHT

A Esfera Integradora de Ulbricht é uma esfera oca cuja parede interna é pintada com uma tinta branca de alta refletância (normalmente 85%) (Figura 3.16). Numa das paredes

existe uma janela em que é colocada uma fotocélula. Em frente a esta janela existe um anteparo para evitar que haja radiação direta da fonte sobre a fotocélula. Existe outra janela, diametralmente oposta a esta, com um anteparo em frente também. Por trás desta outra janela temos um compartimento onde é instalada uma lâmpada chamada lâmpada auxiliar.

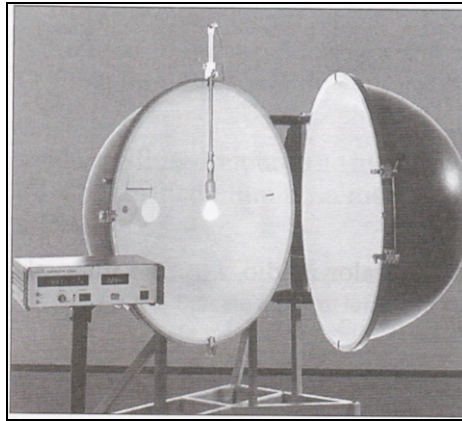


Figura 3.16 – Esfera integradora aberta [12].

A esfera serve para medir o fluxo luminoso total de uma fonte de luz. A teoria da esfera integradora assume que a parte interna da esfera é um difusor perfeito, isto é: é uma superfície Lambertiana e a refletância não é seletiva, ou seja, para qualquer comprimento de onda temos o mesmo índice de refletância. Desta forma teremos que todo ponto dentro da esfera refletirá luz para todos os outros pontos. A iluminância em um ponto dentro da esfera é composta por dois componentes: um componente direto que provém diretamente da fonte e outro devido à reflexão do fluxo luminoso em outros pontos da esfera. Teremos, tanto iluminância como, conseqüentemente, a luminância, devido à luz refletida, em qualquer ponto da parede interna, proporcional ao fluxo luminoso, independente da distribuição da fonte. Existem tintas para esferas integradoras com diferentes refletâncias. De acordo com a refletância da tinta escolhida, teremos vantagens e desvantagens como por exemplo: uma esfera, cuja superfície interna está pintada com uma tinta de refletância de 80%, é menos susceptível a diferenças espectrais devido ao acúmulo de sujeira, do que uma esfera pintada com uma tinta que tenha refletância de 97%, porém as propriedades integratórias da esfera diminuem com a diminuição da refletância. Na Figura 3.17 temos uma vista em corte de uma esfera integradora com seus componentes internos.

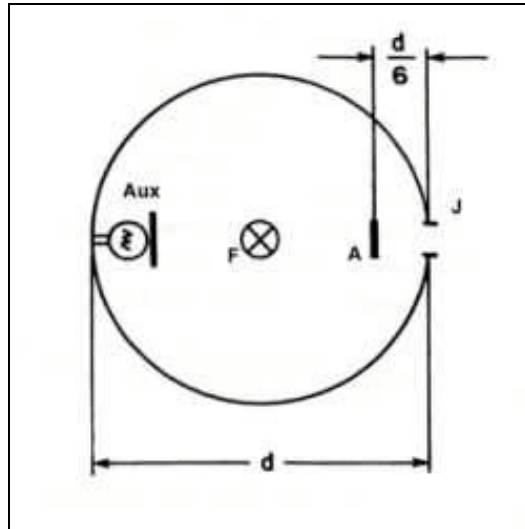


Figura 3.17 - Esfera Integradora de Ulbricht: F: fonte de luz; A: anteparo; J: janela para a fotocélula; Aux: lâmpada auxiliar com anteparo; d: diâmetro da esfera [14].

Teoria da Esfera Integradora de Ulbricht

Dada a esfera da Figura 3.18. A parede interna da esfera tem uma refletância ρ , onde ρ é a relação entre os lumens refletidos para os lumens incidentes em um ponto dentro da esfera. Vamos chamar a luminância do ponto X de L. Podemos dizer que a iluminância no ponto Y, dentro da esfera, devido a um pequeno elemento de área dA, no ponto X, é: $dE_y = (LdA \cos^2\theta)/d^2$

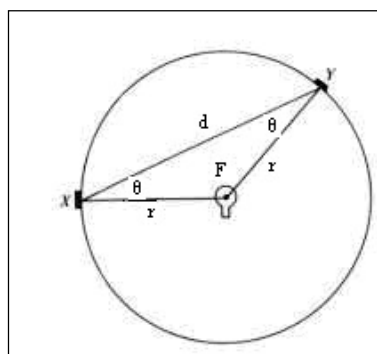


Figura 3.18 - Esfera Integradora de Ulbricht ideal [14].

Podemos notar que $d = 2r \cos\theta$, daí temos que: $dE_y = (LdA)/(4r^2)$

A partir desta equação podemos concluir que a iluminância no ponto Y, devido a um pequeno elemento de área no ponto X, é independente da posição do ponto Y (independe de θ). Assim esta equação nos dá a iluminância de todos os pontos dentro da esfera, devido ao

elemento de área no ponto X. Esta equação, por não depender de θ , nos dá também a iluminância no ponto Y devido a qualquer outro elemento dentro da esfera. Conclusão geral: todo elemento dentro da esfera ilumina todos os outros elementos igualmente e a iluminância, devido a componentes indiretos, dentro da esfera é uniforme.

Agora vamos assumir que uma fonte de luz no centro da esfera emite Φ_v lumens. Após uma primeira reflexão este fluxo Φ_v será $\rho\Phi_v$. Após uma segunda reflexão será $\rho\Phi_v\rho$ ou $\rho^2\Phi_v$. O fluxo total refletido será então:

$$\Phi_{v\text{refl.}} = \rho\Phi_v(1+\rho+\rho^2+\dots+\rho^n)$$

Desde que ρ é menor do que 1, da matemática, nós temos que a soma entre parênteses tem um valor finito de $1/(1-\rho)$. Reescrevendo a equação, temos:

$$\Phi_{v\text{refl.}} = (\rho\Phi_v)/(1-\rho)$$

A superfície de uma esfera, tem uma área de $4\pi r^2$, então a iluminância devido aos lumens refletidos, iluminância indireta, será $E = (\rho\Phi_v)/[4\pi r^2(1-\rho)]$.

Podemos dizer então que, se colocarmos uma fotocélula de um luxímetro na parede da esfera e um anteparo entre ela e a fonte, a medição de iluminância obtida por ele será proporcional ao fluxo luminoso emitido pela fonte. Na prática a fotocélula é instalada junto à parede externa da esfera e recebe luz através de uma janela.

A esfera pode ser calibrada através de uma lâmpada de fluxo conhecido (lâmpada padrão de fluxo luminoso). Desta forma podemos estabelecer a constante de calibração da esfera, $\rho/[4\pi r^2(1-\rho)]$.

Dáí o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada qualquer será: $\Phi_v = (1/k)E$, onde E é a iluminância medida pelo luxímetro na parede da esfera.

CAPÍTULO IV – PRINCIPAIS LÂMPADAS PARA ILUMINAÇÃO INTERNA

4.1 - INTRODUÇÃO

Esse capítulo tem por objetivo o estudo das principais lâmpadas utilizadas em iluminação interna. Estas se classificam basicamente em lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga.

4.2 - LÂMPADAS INCANDESCENTES

São lâmpadas nas quais a emissão de luz é produzida por elemento aquecido até a incandescência, pela passagem de corrente elétrica.

Possuem um bulbo de vidro, em cujo interior existe um filamento de tungstênio, enrolado uma, duas ou três vezes, o qual, pela passagem da corrente elétrica, fica incandescente (Figura 4.1).

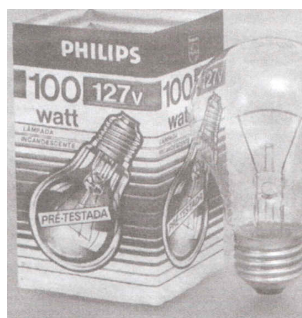


Figura 4.1 - As lâmpadas incandescentes são as mais usadas em nosso país [20].

Para evitar que o filamento se oxide (Figura 4.2), realiza-se o vácuo no interior do bulbo, ou nele se coloca um gás inerte, em geral o nitrogênio ou o argônio. O tungstênio é um metal de ponto de fusão muito elevado (3.400°C), o que permite uma temperatura no filamento de cerca de 2.500°C .

O bulbo, invólucro selado que encerra o elemento luminoso de uma lâmpada, pode ser transparente, translúcido ou opalino, sendo este último é usado para reduzir a luminância ou o ofuscamento (luminância muito intensa).

A cor da luz produzida é branco-avermelhada. Na reprodução em cores, sobressaem as cores amarela e vermelha, ficando amortecidas as tonalidades verde e azul.

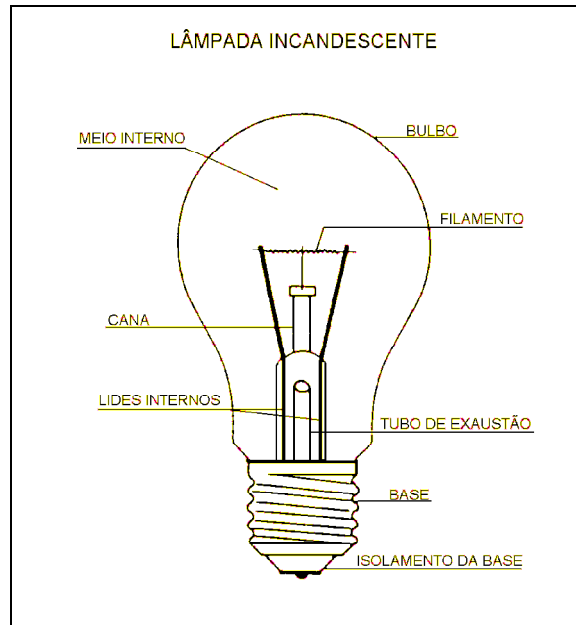


Figura 4.2 - Partes componentes de uma lâmpada incandescente para iluminação geral [12].

As lâmpadas incandescentes podem ser: comuns e de uso geral

São empregadas em residências, lojas e locais de trabalho que não exijam índices de iluminamento elevados.

4.2.1 – O FILAMENTO

O material a ser utilizado no filamento de uma lâmpada incandescente deve satisfazer a vários requisitos (Figura 4.3). Deve possuir elevado ponto de fusão, pois a radiação total (E) emitida é diretamente proporcional à quarta potência da temperatura (T) do radiador (lei de Stefan-Boltzmann), $E = sT^4$.

A constante “s” depende da emissividade “e” do corpo considerado:

$s = \sigma \times e$, onde $\sigma = 5,7 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2 \cdot \text{K}^4$ e e é emissividade.

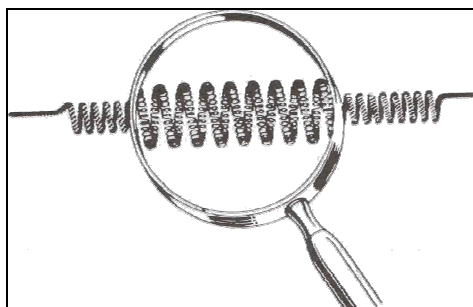


Figura 4.3 - Filamento de lâmpada incandescente [20].

Também a porcentagem de energia visível cresce com a elevação da temperatura, em virtude da lei de Wien, $\lambda_{\text{max}} T = \text{constante}$, onde λ_{max} é o comprimento de onda para o qual temos a máxima radiação do corpo negro ou radiador integral (Figura 4.4).

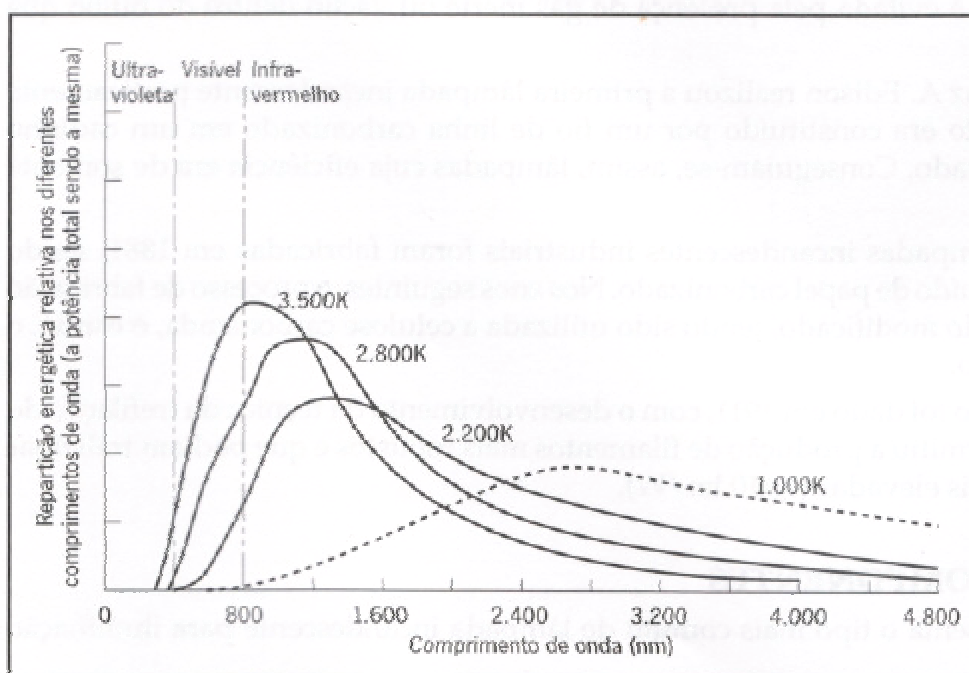


Figura 4.4 - Aumentando-se a temperatura de um corpo negro eleva-se a porcentagem de energia visível irradiada [12].

O carbono tem ponto de fusão de 3.871K e o tungstênio de 3.655 K. Portanto, teoricamente, Edison estava certo quando, nas primeiras lâmpadas, utilizou filamentos de carbono.

Outra característica importante do filamento é ter baixa evaporação, o que alonga a vida da lâmpada. Nesse particular, o carbono é bem inferior ao tungstênio, pois, para que não se evapore rapidamente, sua condição de trabalho (2.100K) será bem abaixo de sua

temperatura de fusão. Já o tungstênio, para a mesma porcentagem de evaporação, pode operar em aproximadamente 2.500 a 3.000 K (em algumas lâmpadas para uso especial, de vida curta, ou lâmpadas que trabalham em atmosfera de iodo, poderá atingir 3.400 K). O tungstênio leva também vantagem sobre o carbono no que diz respeito à resistência mecânica e à sua ductibilidade, o que permite a execução de filamentos mais finos, resistentes e baratos. Também sua curva de radiação visível aproxima-se mais da radiação do corpo negro teórico.

Praticamente todas as lâmpadas atuais utilizam filamentos de tungstênio trefilado e enrolados em forma de espiral, pois as perdas de calor são menores num filamento mais curto. Consegue-se aumentar ainda mais a eficiência luminosa quando se emprega um filamento em espiral dupla. Nessa nova forma, o filamento tem apenas 1/25 do comprimento do fio esticado.

4.2.2 – O MEIO INTERNO

Quanto maior a temperatura a que for submetido o filamento de uma lâmpada, mais intensa e mais branca será a luz emitida. O filamento, entretanto, deverá ficar ao abrigo do ar, pois, de outro modo, sua vida será curtíssima, devido a ação oxidante do oxigênio sobre ele. Por esse motivo, as primeiras lâmpadas incandescentes tinham como meio interno o vácuo. Acontece, porém, que o tungstênio se vaporiza, quando submetido a elevadas temperaturas, sendo essa vaporização, para uma dada temperatura, tanto maior quanto menor for a pressão no interior do bulbo. Portanto, numa lâmpada a vácuo, onde a pressão interna é praticamente nula, não se pode elevar muito a temperatura do filamento sem que sua vida seja reduzida.

A fim de vencer esse obstáculo, foram experimentados vários gases inertes para enchimento dos bulbos, sendo hoje empregadas misturas de argônio e nitrogênio (em alguns casos, criptônio), que criam certa pressão interna no bulbo, diminuindo a vaporização do filamento e, sendo gases neutros, não se combinam com o tungstênio, deixando de provocar sua oxidação. A presença desses gases, contudo, eleva as perdas de calor por meio de convecção. Para minimizá-las, o filamento é concentrado em espiral, apresentando, desse modo, maior aquecimento mútuo e menor área de contato com o gás inerte.

A proporção da mistura argônio / nitrogênio varia com o projeto da lâmpada (nas

lâmpadas de 120 a 220 V, encontramos, aproximadamente, 90 a 95% de argônio e 5 a 10% de nitrogênio). A maior porcentagem de argônio se deve a sua menor condutividade térmica, proporcionando lâmpadas de maior eficiência luminosa, sendo, contudo, necessário o nitrogênio (especialmente nas lâmpadas para tensões mais elevadas) para suprimir as possibilidades de arcos elétricos internos entre seus lides de ligação (Figura 4.2).

O criptônio, tendo menor condutividade térmica e maior peso molecular que o argônio, além de aumentar a eficiência luminosa, reduz também a evaporação do filamento, sendo seu uso indicado em lâmpadas especiais, quando se necessita eficiência e vida mais longa, ainda que a um custo mais elevado. Com sua utilização, conseguem-se aumentos de 7 a 20% na eficiência luminosa. Somente em lâmpadas especiais, onde se procura maior eficiência luminosa, ainda que em detrimento de sua vida útil, continua-se a empregar lâmpadas a vácuo.

4.2.3 – BULBO

As principais finalidades dos bulbos das lâmpadas são:

- separar o meio interno, onde opera o filamento, do meio externo;
- diminuir a luminância da fonte de luz;
- modificar a composição espectral do fluxo luminoso produzido;
- alterar a distribuição fotométrica do fluxo luminoso produzido;
- finalidade decorativa.

Conforme a finalidade da lâmpada, o bulbo preencherá uma ou várias dessas características. Nunca, contudo, poderá preencher ao mesmo tempo todas elas, pois as finalidades eminentemente técnicas são, de um modo geral, contrárias às decorativas.

O material empregado na fabricação dos bulbos é normalmente o vidro (vidro sódio-cálcio), macio, de baixa temperatura de amolecimento. Em lâmpadas empregadas ao ar livre, onde a água fria da chuva possa tocar o bulbo quando aquecido, são empregados vidros duros ou vidros borossilicato (vidros com teor de ácido bórico), que resistem ao choque térmico. Em outras lâmpadas especiais tubulares, onde o filamento é colocado axialmente muito próximo

ao bulbo, são utilizados tubos de quartzo, que resistem a elevadas temperaturas e a choques térmicos.

Para diminuir a luminância da fonte de luz, com o que se diminui a probabilidade de ofuscamentos, os bulbos podem ser fosqueados internamente ou pintados. Esses tratamentos só são necessários nas lâmpadas que trabalharão nuas, fora de luminárias adequadas. O fosqueamento interno corresponde ao tratamento do vidro com ácido fluorídrico, ficando a parte externa do bulbo perfeitamente lisa, para evitar-se a aderência de poeira. Esse fosqueamento interno absorve de 1 a 2 % do fluxo luminoso produzido pelo filamento. A pintura branca é normalmente executada com revestimento de óxido de titânio na parte interna do bulbo. Esse tratamento também diminui a eficiência da lâmpada, sendo a perda maior que no fosqueamento.

Outra finalidade dos bulbos é eventualmente modificar a composição espectral do fluxo luminoso emitido. Para isso os bulbos podem ser coloridos, obtendo-se lâmpadas decorativas ou para finalidades específicas. Um exemplo de lâmpada colorida é a vulgarmente denominada "luz solar", onde um sal de cobalto, introduzido na fórmula do vidro, produz um bulbo azul-claro. Esse bulbo, pela sua transmitância espectral, diminui, em relação ao fosco simples, a passagem das radiações amarelas e de maiores comprimentos de onda. O fluxo luminoso resultante é mais semelhante à luz natural provinda da abóbada celeste. Contudo, como era de se esperar, a eficiência dessas lâmpadas cai bastante, sendo aproximadamente 65 % da de uma lâmpada fosca normal.

Os bulbos são, também, muito utilizados para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso produzido pelo filamento. São, por exemplo, as lâmpadas refletoras, onde a parte traseira do bulbo é constituída por um refletor (com perfil parabólico ou elíptico) de alumínio vaporizado em alto vácuo, espelhado internamente. Essas lâmpadas dispensam projetores, permitindo a orientação do fecho luminoso em direções determinadas (nas lâmpadas dotadas de refletores parabólicos teremos fechos mais concentrados e nas lâmpadas com refletores elípticos a luz é distribuída sob a forma de um fecho aberto).

Finalmente, o bulbo de uma lâmpada pode fazer parte de um esquema de ornamentação. São as lâmpadas decorativas, que podem ter formas e cores bizarras. A forma de bulbo mais comum é a chamada "forma A", que se assemelha a uma gota d'água. Nas máquinas automáticas de fabricação de lâmpadas, onde o vidro fundido forma naturalmente

uma gota antes de ser soprado no molde, essa forma é particularmente vantajosa (Figura 4.5).

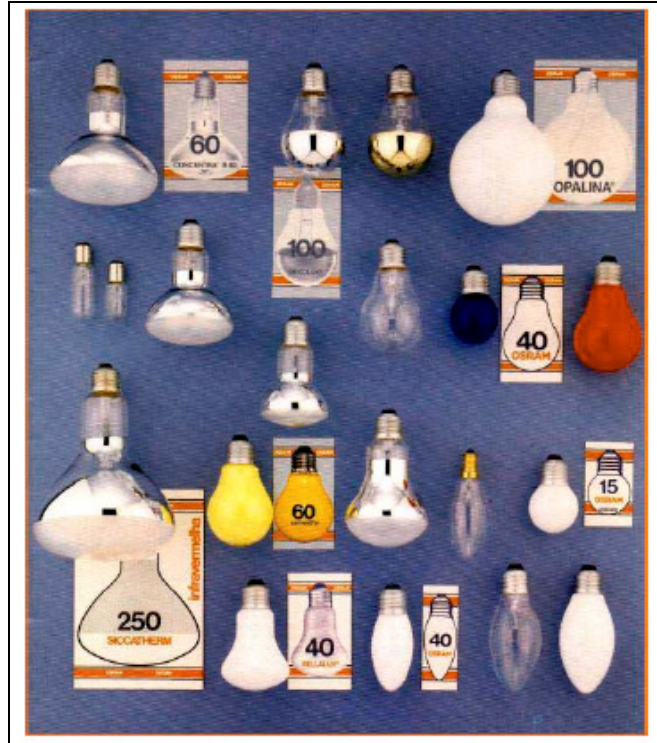


Figura 4.5 – Tipos de lâmpadas incandescentes [21].

4.2.4 – BASES

As bases têm por finalidade fixar mecanicamente a lâmpada em seu suporte e completar a ligação elétrica ao circuito de alimentação. A maior parte das lâmpadas usa a base de rosca tipo Edison. Elas são designadas pela letra E, seguida de um número que indica aproximadamente seu diâmetro externo em milímetros .

As bases tipo baioneta são usadas quando se deseja uma fixação que resista a vibrações intensas (lâmpadas para trens, automóveis, etc.) ou nos tipos "focalizados", onde a fonte de luz tenha uma posição precisa num sistema ótico (projetores de cinema, de slides, etc). Essas bases são designadas pela letra B, seguida de seu diâmetro em milímetros. Nos casos mais comuns, são de contato central simples, sendo utilizadas nas lâmpadas que possuem um único filamento. Nas lâmpadas de dois filamentos, utilizadas especialmente em automóveis, as bases tipo baioneta possuem contatos centrais duplos e os pinos de fixação não

guardam simetria entre si. Dessa forma, a lâmpada só se encaixa em uma posição predeterminada.

Em casos particulares são utilizadas bases de desenho especial.

4.2.5 – OUTRAS PARTES DE VIDRO

Na Figura 4.2 vemos que no centro da lâmpada existe uma cana terminada em botão, onde são inseridos os fios de molibdênio que suportam o filamento em sua posição. As lâmpadas que trabalham em locais sujeitos a vibrações intensas devem possuir maior número desses suportes. Seu número, contudo, não deverá ser excessivo porque, além de dificultar a fabricação, eles roubam calor do filamento, diminuindo a eficiência luminosa.

A parte inferior da cana é soldada e prensada no flange. Nessa junção passam os lides, que fazem o contato elétrico ao circuito externo através da base. Para que não existam penetrações de ar nessa passagem, é preciso que não haja grande diferença entre os coeficientes de dilatação do vidro e dos lides. Por esse motivo, nesse ponto, o lide é constituído de uma liga especial (dumet de ferro-níquel recoberta externamente por cobre). Na parte inferior do flange, temos o tubo de esgotamento, por onde se faz o vácuo e se introduzem os gases inertes. A seguir, esse tubo é selado pouco abaixo do bulbo. Essas últimas peças são feitas em vidro-chumbo, visto ser esse vidro mais fácil de trabalhar e possuir maior rigidez dielétrica.

4.2.6 -VIDA E EFICIÊNCIA LUMINOSA

Essas duas características estão, como vimos, intimamente ligadas. Para aumentar a eficiência luminosa de uma lâmpada incandescente, deveremos elevar a temperatura de seu filamento, mas com isso reduziremos sua vida. As lâmpadas incandescentes para iluminação geral possuem, segundo a ABNT, uma vida média de 1.000 h e eficiência luminosa de aproximadamente 15 lm/W .

4.2.7 - FATOR DE POTÊNCIA

Como a impedância do filamento é constituída praticamente por um circuito resistivo, seu fator de potencia é unitário.

4.2.8 - EFEITO ESTROBOSCÓPICO

Nos circuitos de c.a., a corrente no filamento passa por zero em cada semi-período, causando a flutuação da temperatura e da produção de luz pelo filamento. Os filamentos de maior seção e os duplamente espiralados, possuindo maior inércia térmica, são menos suscetíveis a essa "cintilação". Nas redes de 60 Hz, esse efeito estroboscópico é praticamente desprezível para qualquer potência de lâmpada incandescente.

4.2.9 - CORRENTE DE PARTIDA DAS LÂMPADAS

Teoricamente existe uma sobrecorrente na lâmpada no momento em que o interruptor é acionado. Essa corrente seria inversamente proporcional à variação da resistência de seu filamento de tungstênio, que, como a maioria dos materiais, possui característica positiva.

A frio, a resistividade do tungstênio é da ordem de 1/16 de sua resistividade na temperatura de trabalho. Contudo a sobrecorrente de partida não atinge esses valores, devido às próprias impedâncias do circuito elétrico de alimentação, dos transformadores, das conexões. Como essas sobrecorrentes são rápidas, para que os fusíveis e disjuntores de proteção não operem indevidamente no momento do acendimento, basta que utilizemos unidades com pequeno retardo

4.2.10 – DEPRECIÇÃO DO FLUXO LUMINOSO

O fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas incandescentes diminui, durante sua vida, devido a dois fatores:

- Com a constante evaporação do filamento sua seção decresce, ele se torna cada vez mais frágil, sua temperatura é reduzida e sua resistência elétrica é acrescida, fazendo com que a lâmpada consuma menor potência elétrica e emita menos luz.

- Simultaneamente, o fluxo luminoso diminui devido ao enegrecimento interno do bulbo pelas partículas evaporadas. Esse efeito é muito mais pronunciado nas lâmpadas a vácuo.

4.2.11 - LÂMPADAS INCANDESCENTES HALÓGENAS

São também conhecidas como lâmpadas de quartzo, de iodo ou iodina. Basicamente são lâmpadas incandescentes, nas quais se adiciona, internamente ao bulbo, aditivos de iodo ou bromo. Quando essa lâmpada funciona, realiza-se, no interior do bulbo o chamado “ciclo iodo” .

Em geral as lâmpadas halógenas são mais eficientes do que as lâmpadas incandescentes comuns (Figura 4.6).

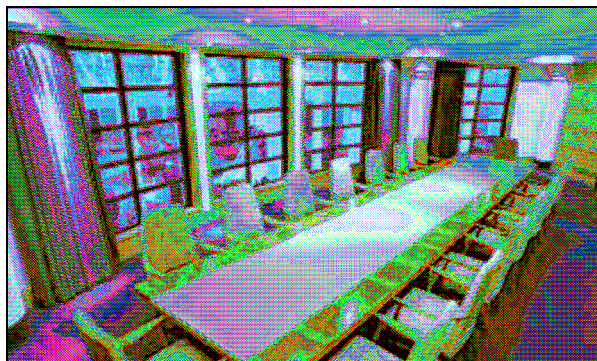


Figura 4.6 – Sala de reunião [10].

4.2.11.1 - O PRINCÍPIO DO CICLO HALÓGENO OU IODO

O filamento de tungstênio é incluso em um bulbo de quartzo preenchido com um gás, junto com uma quantidade controlada de halógeno. Na temperatura de operação algum tungstênio evapora e migra para as áreas mais frias da parede do bulbo, onde antes dele poder se depositar, se combina com o halógeno para formar um haleto e tungstênio. Este haleto

circula até chegar próximo do filamento, onde se dissocia e deposita o tungstênio de volta no filamento. Este ciclo continua ao longo da vida operacional da lâmpada (Figura 4.7).

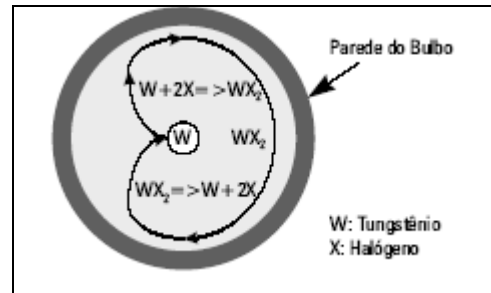


Figura 4.7 – Ciclo halógeno ou iodo [10].

Como a parede do bulbo permanece limpa, o tamanho do bulbo pode ser reduzido consideravelmente pelo uso de quartzo, o qual pode suportar as altas temperaturas da parede do bulbo. O pequeno bulbo e materiais mais resistentes suportam uma densidade de gás aumentada e pressões de trabalho muito maiores. Isto reduz a evaporação do filamento, oferecendo um melhor desempenho com um maior fluxo luminoso e vida mais longa (Figura 4.8).

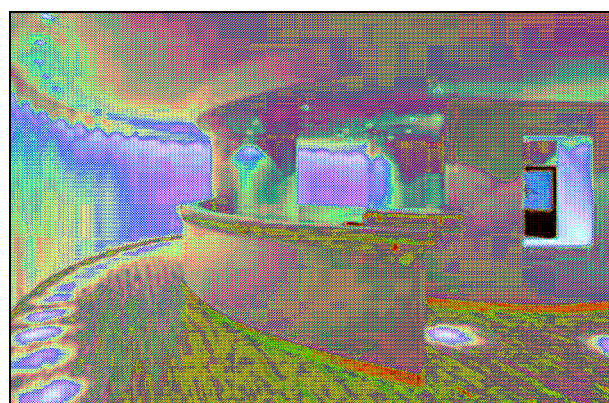


Figura 4.8 – Recepção [10].

4.2.11.2 - COMO FUNCIONA A HALÓGENA - IR

A corrente elétrica, juntamente com a energia calorífica do infravermelho refletido aquecem o filamento. Assim, menos potência é consumida para manter o filamento quente (Figura 4.9).

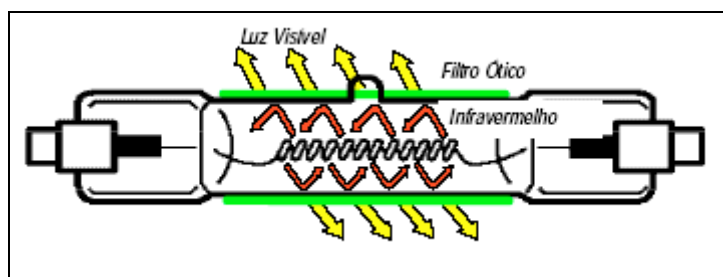


Figura 4.9 - Funcionamento da halógena – IR [10].

4.2.11.3 - LUZ, VIDA & TENSÃO

Para qualquer lâmpada incandescente, a saída de luz e a vida útil dependem da tensão na qual a lâmpada é operada. Por exemplo, aproximadamente, a saída de luz varia com a tensão elevada a 3,6 e a vida varia inversamente com a tensão elevada a 12. A Tabela 4.1 e o Gráfico 4.1 a seguir ilustram o efeito da subtensão e da sobretensão aplicada em uma lâmpada, em sua corrente (A), vida e saída de luz (lumens). Os valores indicados, exceto para lâmpadas de longa vida, são razoavelmente válidos entre 95% e 110% da tensão de projeto. Além disto, as características indicadas podem não se concretizar devido a influência de fatores os quais não podem ser incorporados neste gráfico.

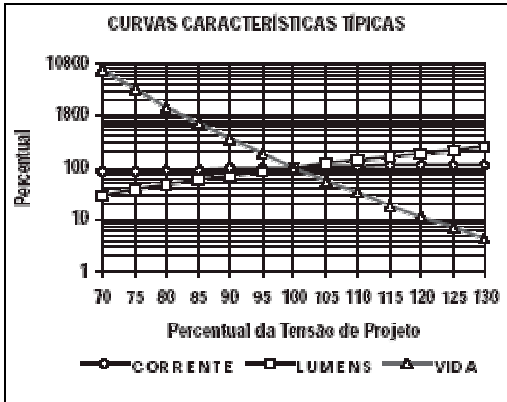


Gráfico 4.1 - O efeito da subtensão e da sobretensão [10].

Lâmpadas Subvoltadas (<100%)				Lâmpadas Sobrevoltadas (>100%)			
volts %	amps %	lumens %	vida %	volts %	amps %	lumens %	vida %
99	99,4	96,5	112,8	101	100,5	103,5	88,7
98	98,9	93,2	127,4	102	101,1	107,2	78,8
97	98,3	89,9	144,1	103	101,6	110,9	70,1
96	97,8	86,7	163,2	104	102,2	114,7	62,5
95	97,2	83,6	185,1	105	102,7	118,6	55,7
90	94,4	69,2	354,1	110	105,4	139,6	31,9

Este gráfico só se aplica para corrente contínua e corrente alternada senoidal, considerando as observações pertinentes aplicáveis à vida publicada. Os dados, particularmente para a vida da lâmpada, não se aplicam accuradamente para lâmpadas operando em tensões retificadas de meia-onda, em equipamentos com "dimming" com semicondutores e operação em corrente constante.

Tabela 4.1 - Subtensão e da sobretensão aplicada em uma lâmpada [10]

4.2.11.4 – PRECAUÇÕES NO USO DAS LÂMPADAS HALÓGENAS

As lâmpadas halógenas são preenchidas com gás a alta pressão para maximizar a sua eficiência (lumens/ watt). Algumas precauções gerais são dadas a seguir:

Altas Temperaturas de Operação

Como as temperaturas de operação são críticas para a efetividade das propriedades de auto-limpeza das lâmpadas halógenas, a temperatura das paredes da ampola não deve ser inferior a 250°C. Pontos quentes na parede da ampola podem alcançar até 700°C na operação normal. Substancial calor é gerado em todas as lâmpadas halógenas, assim o projeto do equipamento deve permitir a dissipação do calor excessivo. Certas lâmpadas em luminárias extremamente fechadas podem requerer ventilação adicional ou dissipador de calor para assegurar a apropriada operação do ciclo halógeno e prevenir danos nas luminárias. É uma boa prática testar a lâmpada no ambiente de operação, antes de colocá-la em operação normal para assegurar o desempenho adequado. Precauções devem ser tomadas na seleção dos materiais dos soquetes, dos refletores e que envolvem a lâmpada, porque a temperatura da parede da ampola (700°C) é muito maior do que a temperatura de combustão de muitos materiais.

A temperatura da base da lâmpada não deve exceder 350°C, porque acima deste ponto os fios de contato podem se deteriorar e o cimento de base pode soltar, causando a falha prematura da lâmpada.

Distribuição da Radiação Espectral

As lâmpadas halógenas oferecem uma grande quantidade de energia visível e infravermelha a partir de uma pequena fonte de luz, com cerca de 90% da energia na faixa do infravermelho. Algumas lâmpadas halógenas podem ser usadas para aplicações especiais, onde pequenas quantidades de energia ultra violeta são requeridas.

Sob condições normais de uso, não existe risco para o ser humano de danos à pele causados pelo ultra violeta, tal como queimadura. Por exemplo, em uma típica aplicação de escritório, a exposição à luz ultra violeta durante 8 horas por dia é equivalente a 10 minutos sob o sol de verão. Para as lâmpadas halógenas, a quantidade de ultra violeta e a extensão dos danos que ele pode fazer à pele dependem de:

- Qual a potência da lâmpada,
- Quanto próximo se está da lâmpada,
- Quanto tempo se está próximo da lâmpada.

Assim, dependendo das condições acima citadas, a pequena radiação ultravioleta que vem de fontes não protegidas pode causar irritação dos olhos e da pele após uma exposição direta prolongada. Passando a luz através de um plástico ou vidro comum é proporcionada adequada proteção. Os bulbos e lentes de algumas lâmpadas halógenas proporcionam esta proteção.

A potencialmente prejudicial energia UV-C e a radiação UV-B emitida pelo filamento são absorvidas pela parede do bulbo que é produzido com um especialmente desenvolvido quartzo de “UV Controlado”. O uso de quartzo com UV controlado junto com uma cobertura de vidro opticamente neutra, permite que a lâmpada atenda completamente com os últimos requerimentos exigidos pela IEC 357.

Cuidados com as lâmpadas halógenas

As ampolas ou bulbos utilizados em todas as lâmpadas halógenas geram intenso calor, são pressurizadas e podem estilhaçar se arranhadas ou danificadas. O vidro das lâmpadas halógenas devem ser protegidos contra líquidos quando em operação. Use somente em luminárias projetadas para a alta temperatura de operação. Utilize uma lente ou placa de vidro ou plástico como proteção nos equipamentos nos quais as lâmpadas halógenas estão instaladas ou sendo usadas.

Não opere a lâmpada próxima de substâncias ou materiais que são inflamáveis ou adversamente afetados pelo calor ou desidratação.

Use apropriada proteção para evitar o risco de acidentes quando manusear ou jogar fora toda lâmpada halógena. Use proteção para os olhos. Desligue a energia quando instalar e antes de remover a lâmpada. Espere a lâmpada esfriar antes de removê-la. Uma bula completa de precauções acompanha cada lâmpada halógena (Figura 4.10).



Figura 4.10 – Tipos de lâmpadas incandescentes halógenas [15].

4.2.12 - LÂMPADAS INCANDESCENTES REFLETORAS (PAR)

São lâmpadas, com tratamento espelhado do bulbo (Figura 4.11), Representam uma evolução das incandescentes. Resultam em luz concentrada e com maior intensidade, com feixes de luz bem definidos e são indicadas para iluminação dirigida e de destaque, valorizando objetos ou espaços

São usadas em spots e em luminárias embutidas fixas ou orientáveis. Utilizadas em residências, portaria de edifícios, lojas, vitrines, galerias, museus etc.



Figura 4.11 - Exemplo de uma SPOT Osram [21].

4.2.13 - TABELAS DE IDENTIFICAÇÃO DE LÂMPADAS, DO BULBO E DA BASE

Algumas tabelas são usadas para identificar lâmpadas, bulbo e bases.

As Tabelas 4.2 , 4.3 e 4.4, são usadas pela GE.

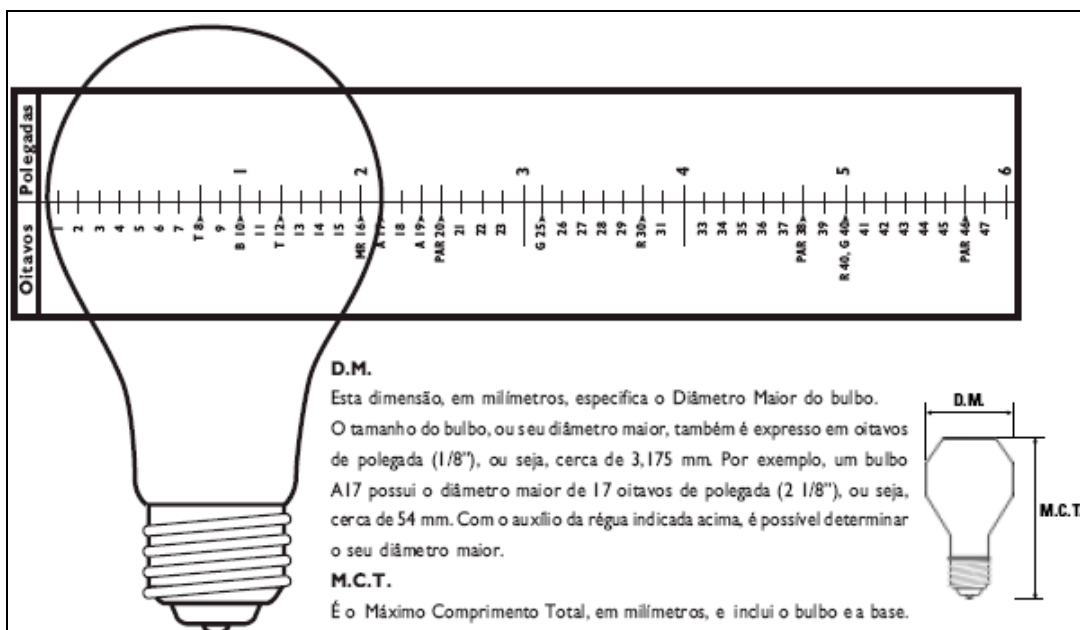


Tabela 4.2 - Identificação de lâmpadas [10].

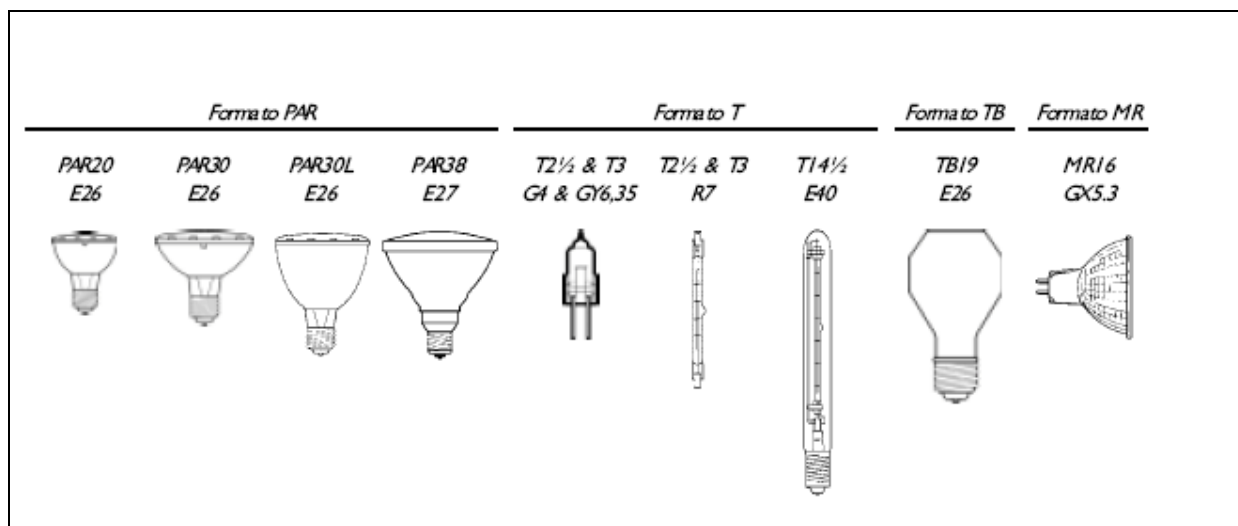


Tabela 4.3 - Identificação do bulbo [10].

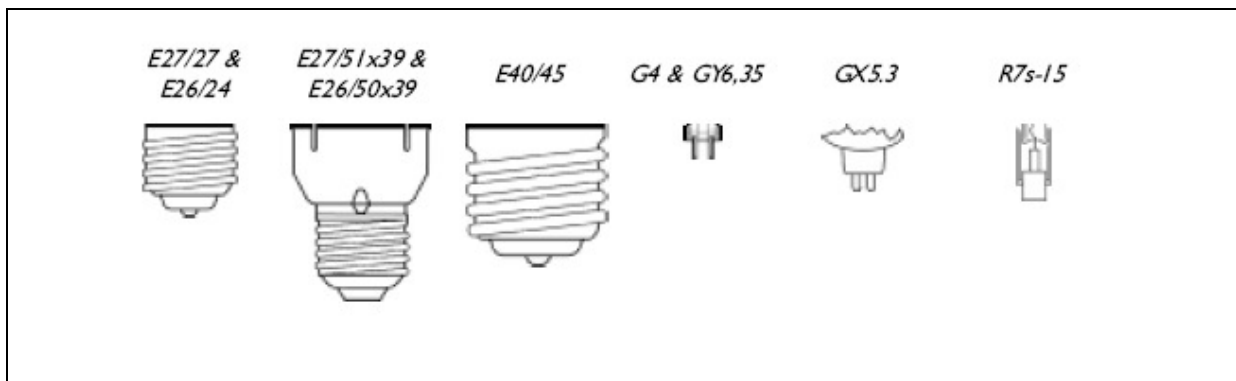


Tabela 4.4 - Identificação da base [10].

4.3 – LÂMPADAS DE DESCARGA ELÉTRICA

Nessas lâmpadas o fluxo luminoso é gerado direta ou indiretamente pela passagem da corrente elétrica através de um gás, mistura de gases ou vapores. As primeiras lâmpadas de descarga, chamadas de arco voltaico, utilizadas na iluminação pública no início do século XX, como visto na seção 1.2, Figura 1.3, hoje estão com sua aplicação limitada aos aparelhos de projeção de grande potência para aplicações especiais (teatro, iluminação aérea, etc.). Nelas a descarga elétrica se dá através do ar, sendo grande parte do fluxo luminoso produzido pela incandescência dos seus eletrodos de carvão.

4.3.1 - MEIO INTERNO

As modernas lâmpadas de descarga são constituídas por um tubo contendo gases ou vapores, através dos quais se estabelece um arco elétrico. Os gases mais utilizados são o argônio, o neônio, o xenônio, o hélio ou o criptônio e os vapores de mercúrio e sódio com alguns aditivos.

A pressão do gás ou vapor dentro do bulbo pode variar desde fração de atmosfera até dezenas de atmosferas. Daí podemos classificar as lâmpadas como de baixa, média e alta pressão. As lâmpadas de neônio (anúncios de gás neônio) e as fluorescentes são lâmpadas de baixa pressão. As lâmpadas de média pressão de vapor de mercúrio, são usadas para a cura de tintas e vernizes UV e também no uso terapêutico. As lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio, iodeto metálico e gás xenônio são de alta pressão.

4.3.2 – ELETRODOS

Vários metais são utilizados na construção dos eletrodos: níquel, tungstênio, nióbio, que podem ser recobertos com substância de elevado poder emissor de elétrons, geralmente óxidos de bário ou estrôncio. Em certas lâmpadas os eletrodos são mantidos em baixa temperatura (lâmpadas de catodo frio), em outras, eles são aquecidos até a incandescência (lâmpadas de catodo quente). Nesse último caso, podemos ter catodo com e sem preaquecimento.

Os catodos com preaquecimento são constituídos de filamentos de tungstênio, recobertos com óxidos emissores, pelos quais se faz circular uma intensidade de corrente elétrica destinada a aquecê-los, enquanto a descarga elétrica se inicia (exemplo: lâmpadas fluorescentes convencionais). Iniciada a descarga plena na lâmpada, o preaquecimento pode ser retirado, mantendo-se os eletrodos na temperatura ótima pela própria descarga elétrica.

Os catodos sem preaquecimento são mantidos na temperatura de funcionamento, também pela própria descarga elétrica. Contudo, como não existe preaquecimento, essas lâmpadas exigem elevadas diferenças de potencial entre seus eletrodos, para que se provoque a ionização do meio interno e a descarga se inicie.

4.3.3 – BULBO

Nas lâmpadas de baixa pressão, em que os bulbos funcionam em reduzidas temperaturas, estes são normalmente construídos de vidro. Já as lâmpadas de alta pressão, funcionando em elevadas temperaturas, exigem bulbos de quartzo e, em casos especiais, de cerâmica translúcida.

Quando se desejam altas temperaturas e pressões elevadas no tubo de arco, é comum a utilização de dois bulbos concêntricos entre os quais existe vácuo ou gás a baixa pressão, que funciona como isolamento térmico entre ambos. Nesse caso, o bulbo interno trabalhará em temperatura bastante superior ao externo.

4.3.4 - PRODUÇÃO DE RADIAÇÕES PELA DESCARGA ELÉTRICA

Para o estudo da produção de radiações pela descarga elétrica, utilizaremos, para efeito de simplicidade, a configuração do átomo de Bohr. Segundo o modelo de Bohr, os elétrons de um átomo revolvem em órbitas especificadas, sem a emissão de energia radiante. Um elétron pode "saltar" de uma órbita interna (de menor nível energético) para uma externa (de maior nível energético), desde que receba energia, isto é, seja excitado. Esse estado de excitação, entretanto, é instável e o elétron volta a sua órbita original (de menor nível energético), emitindo um fóton cuja energia é igual a diferença de energia ($E_1 - E_2$) entre os dois estados e cuja frequência (f) é dada por

$$f h = E_1 - E_2,$$

onde h é a constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ Js).

Note-se que o estado normal de um átomo é aquele em que a energia é mínima, com os elétrons revolvendo na órbita de menor raio. Para os raios das diferentes órbitas, Bohr deu a expressão:

$$r = n^2 r_0,$$

onde r_0 é o raio da primeira órbita ($0,53 \times 10^{-10}$ m) e n é o número quântico da órbita.

Caso um elétron excitado salte da órbita $n = 2$ para $n = 1$, a energia radiante (fóton) será emitida em uma frequência diferente da que seria obtida caso o salto fosse da órbita $n = 3$ para a $n = 2$. Portanto a radiação produzida pela descarga elétrica não possui um espectro contínuo, mas as frequências obtidas serão proporcionais às diferenças de níveis energéticos possíveis para um dado gás ou vapor, nas suas condições de pressão e temperatura.

Por ocasião da descarga elétrica numa lâmpada, os elétrons livres emitidos por um eletrodo (catodo) se dirigem ao outro eletrodo (anodo). No caminho, eles poderão colidir com um átomo do gás ou vapor contido no bulbo, de modo a retirar-lhe um elétron da órbita interna, passando-o para órbita mais externa (excitando o átomo) e seu subsequente retorno a órbita primitiva com a emissão, como vimos, de um fóton (energia radiante).

O elétron livre poderá, também, na colisão com o átomo do gás ou vapor, retirar um elétron de sua órbita periférica. Nesse caso, o elétron libertado se encaminhará, juntamente com o seu libertador, para o anodo. Esse fenômeno não produzirá energia radiante, mas será o responsável pela atmosfera condutora (plasma), que mantém a corrente elétrica no interior do bulbo.

Nas lâmpadas sem revestimentos fluorescentes, o fluxo luminoso provém diretamente da descarga elétrica nos gases ou vapores. Já nas lâmpadas com revestimentos fluorescentes, a maior parte do fluxo visível provém do revestimento fluorescente, que é excitado pelas radiações ultravioletas ($\lambda = 253,7\text{nm}$) produzidas pela descarga elétrica no vapor de mercúrio (Figura 4.12).

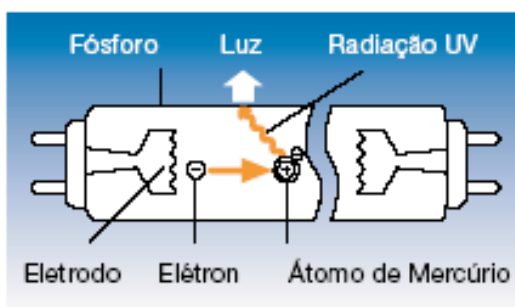


Figura 4.12 – Lâmpada fluorescente [21].

Essas substâncias (fósforos) agem como conversores de frequência. Quando sobre elas incide uma energia radiante de determinado comprimento de onda, elas a absorvem e a reemitem em parte, porém num diferente comprimento de onda. São substâncias cristalinas contendo traços de impurezas (ativadores), tais como tungstatos, boratos e silicatos de cálcio, magnésio, zinco, berílio e cádmio (a composição química varia de acordo com a cor da luz que se deseja obter).

4.3.5. - A DESCARGA ELÉTRICA: SUA IONIZAÇÃO E SUA ESTABILIZAÇÃO

Para que a descarga elétrica se inicie, é necessário que a diferença de potencial entre os eletrodos seja superior a um certo valor crítico. Esse valor pode ser reduzido pelo aquecimento dos eletrodos. Uma vez iniciada a descarga, ela poderá ser mantida, com

estabilidade, com tensões menores que as de ignição, podendo-se também eliminar o aquecimento dos eletrodos, que se manterão na temperatura ideal pela própria descarga elétrica que existe entre eles. Do exposto, conclui-se que as lâmpadas de catodo frio e outras que não possuem preaquecimento exigem, sempre, tensões elevadas para a partida e para o funcionamento em regime permanente.

As lâmpadas de descarga necessitam, pois, de equipamento auxiliar (reatores, transformadores, ignitores), seja para produzir os pulsos de tensão necessários à partida, ou para estabilizar o valor da intensidade de corrente na descarga em regime permanente, seja para adaptar as características elétricas da lâmpada aos valores nominais da fonte de alimentação.

O reator é um circuito eletromagnético ou eletrônico que tem por finalidade:

- Dar condições de partida à lâmpada
- Estabilizar a corrente no tubo de descarga
- Controlar a potência dissipada na lâmpada devido as condições da rede de alimentação

A função do ignitor é de superpor um ou mais pulsos de alta tensão sobre a tensão da lâmpada, para que a sua descarga elétrica se inicie. Iniciada a descarga o ignitor se desliga automaticamente. Existem 3 tipos de construção básica para os ignitores:

- Ignitor de 3 pontos (Ignitor derivação) que utiliza o próprio reator como transformador amplificador dos pulsos produzidos pelo ignitor. É o modelo de uso mais corrente em nosso meio para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, servindo também para lâmpadas de iodeto metálico de alguns fabricantes. Sua tensão de pulso depende do reator utilizado e da posição da sua derivação (normalizada pela ABNT em 7 a 9% das espiras do lado da lâmpada). Este tipo de ignitor é constituído de três terminais conectados segundo o diagrama da Figura 4.13. Nesse caso, o capacitor C se descarrega mediante o dispositivo controlador D. Os pulsos gerados pelo ignitor são aplicados sobre o reator ligado entre os pontos 2 e 3 visto no diagrama. Através de um adequado número de espiras, o reator amplia o módulo dos pulsos e os aplica sobre os terminais da lâmpada.

Esse tipo de ignitor apresenta as seguintes características:

- utiliza o reator como transformador de impulso;
- o reator deve suportar os impulsos de tensão;
- o reator e o ignitor devem estar juntos e o conjunto afastado da lâmpada.

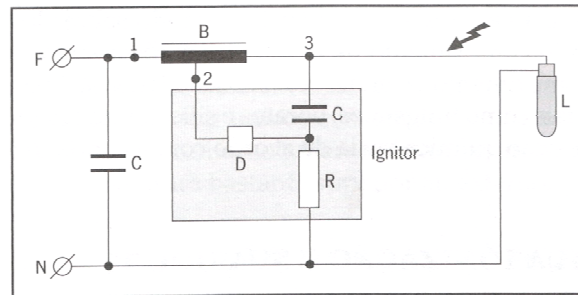


Figura 4.13 – Ignitor ABNT; C: capacitor; R: resistor; D: sidac²; B: reator; L: lâmpada [12].

- Ignitor com bobina de pulso em série com a lâmpada (Ignitor série). É um ignitor mais complexo e caro, pois possui bobina interna de pulso. Sua tensão de pulso independe do reator utilizado, podendo chegar a 50kV na reignição instantânea de lâmpadas de iodeto metálico de elevados potencias. Este tipo de ignitor é constituído de três terminais conectados segundo a Figura 4.14. Neste caso, o capacitor C se descarrega mediante dispositivo controlador D. Os pulsos gerados pelo ignitor são aplicados às espiras do transformador em T, que amplifica os pulsos adequadamente, cujo módulo da tensão depende do próprio ignitor.

O ignitor série apresenta as seguintes características:

- o ignitor e o transformador estão incorporados num único invólucro;
- o ignitor funciona independentemente do reator instalado;
- deve estar próximo à lâmpada para evitar a redução da intensidade dos pulsos;
- o transformador pode estar distante da lâmpada.

² SIDAC (Diodo de Silício para Corrente Alternada)

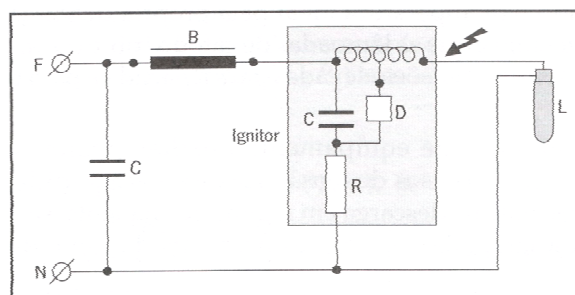


Figura 4.14 - Ignitor com bobina de pulso interna. C: Capacitor; R: resistor; D: Sidac; B: reator [12].

- Ignitor em paralelo (Figura 4.15). Gera pulsos de menor tensão (duas a quatro vezes a tensão de pico da rede) sendo utilizados unicamente em algumas lâmpadas de iodeto metálico e a de vapor de sódio de baixa pressão. Este tipo de ignitor é constituído de dois terminais conectados de acordo com o diagrama da Figura 4.15. Neste caso, a energia armazenada no capacitor C é fornecida à lâmpada através da intervenção do circuito de disparo D, no instante em que a tensão alcança o seu valor máximo, resultando um pulso de tensão da ordem de 2 a 4 vezes a tensão da rede de alimentação, isto é, entre 600 a 1200V.

Os ignitores paralelos apresentam as seguintes características:

- são utilizados somente com alguns tipos de lâmpadas a vapor de mercúrio e a vapor de sódio de baixa pressão;
- a tensão de impulso de 1200V pode perfurar o isolamento dos componentes do circuito da lâmpada no caso em que esta não chegue a acender.

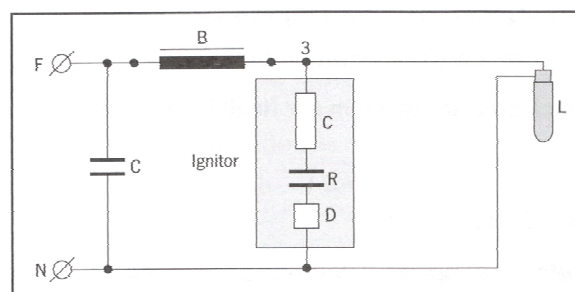


Figura 4.15 - Ignitor em paralelo: C Capacitor; R: resistor; D: Sidac; L: lâmpada; B: reator [12].

As características elétricas da descarga em um gás diferem fundamentalmente das de uma resistência ôhmica. Na última, temos uma característica positiva, isto é: a intensidade da corrente diminui com o decréscimo da tensão aplicada. Já a descarga, na maioria dos gases, possui uma característica negativa, isto é: a corrente tende a decrescer quando a tensão fica superior a necessária para conservar a descarga. Daí a necessidade de colocarmos em série com o tubo de arco uma impedância limitadora (que poderá ser um circuito predominantemente resistivo, indutivo, capacitivo ou um circuito eletrônico).

4.3.6 – ESTABILIZAÇÃO POR CIRCUITO RESISTIVO

Essa estabilização é empregada em instalações em que se deseja redução do custo inicial e, também, em alguns circuitos de corrente contínua (Figura 4.16).

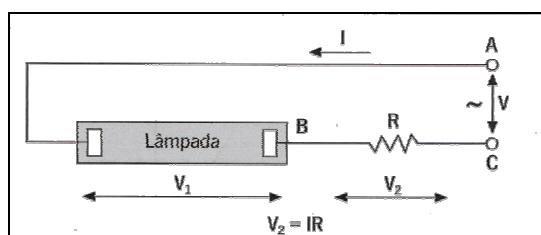


Figura 4.16 - Estabilização da descarga por circuito resistivo [12].

Nesse caso, temos a combinação de uma característica positiva (do resistor) com a característica negativa da lâmpada, resultando em um equilíbrio.

Normalmente o resistor é um filamento incandescente que, emitindo radiações, colabora no fluxo luminoso final (lâmpadas de luz mista). A lâmpada, estabilizada por um circuito resistivo, terá fator de potência unitário, mas sua eficiência luminosa global será diminuída devido a baixa eficiência do filamento incandescente como fonte de luz.

Suponhamos, no caso mais favorável, que a tensão terminal (V_1) no tubo de descarga, seja independente de I . Todas as variações de tensão da fonte de alimentação repercutiriam unicamente sobre R . Por exemplo, se estabilizamos, para uma fonte de 220 V, um tubo de 110 V através de uma lâmpada incandescente (R) de 110 V, uma variação de + 10 % na tensão da rede (22 V) corresponderia a uma elevação de 20% na tensão da lâmpada incandescente

estabilizadora, que passaria a funcionar com $V_2 = 132 \text{ V}$, tendo sua vida drasticamente encurtada. Esse efeito, na prática, ainda é mais sensível, pois, na realidade, a descarga elétrica possui uma resistência negativa (V_1 decresce com o aumento de I).

4.3.7 - ESTABILIZAÇÃO POR CIRCUITO INDUTIVO

Atualmente é mais empregada a estabilização por circuito indutivo (reatores ou transformadores), conforme a Figura 4.17. Nesse caso, a tensão nas extremidades da lâmpada está em quadratura com a tensão no reator (pois supomos sua resistência interna desprezível).

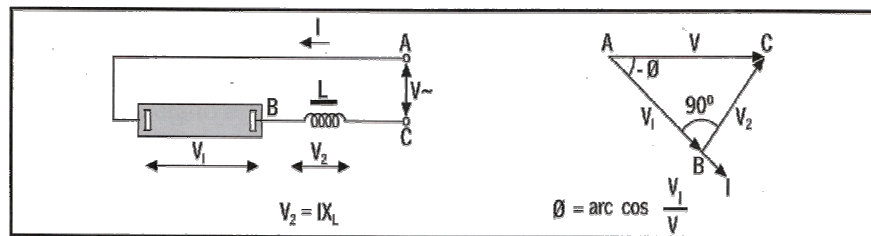


Figura 4.17 - Estabilização da descarga elétrica por circuito indutivo [12].

O fator de potência é baixo, estando a corrente no circuito atrasada da tensão aplicada.

4.3.8 - ESTABILIZAÇÃO POR CIRCUITO CAPACITIVO

A estabilização por capacitância é a indicada na Figura 4.18. Nesse caso, o fator de potência é também baixo, estando a corrente (I) adiantada da tensão aplicada. É um circuito que se torna econômico para funcionamento em frequências mais elevadas.

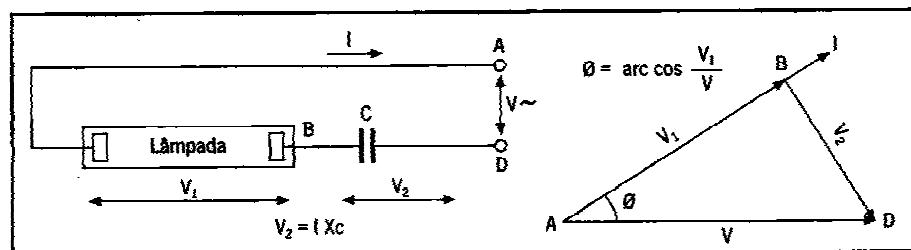


Figura 4.18 - Estabilização da descarga elétrica por circuito capacitivo [12].

As lâmpadas alimentadas por qualquer um dos três circuitos anteriores possuem efeito estroboscópico. Sabe-se que o fluxo luminoso emitido a cada instante é proporcional a

corrente instantânea.

Suponhamos a corrente senoidal, i (Figura 4.19), que flui num circuito. A radiação produzida não possui polaridade, e sua frequência será o dobro daquela da fonte de alimentação. A linha tracejada representa, portanto, o fluxo luminoso produzido por uma lâmpada sem recobrimento fluorescente. Os sais fluorescentes possuem uma certa inércia e, portanto, para as lâmpadas que os utilizam, a curva de variação de fluxo luminoso é a representada pela curva ϕ .

Vemos, pois, que o fluxo luminoso de uma lâmpada de descarga varia com frequência dupla, sendo a variação mais pronunciada nas lâmpadas que não utilizam recobrimentos fluorescentes.

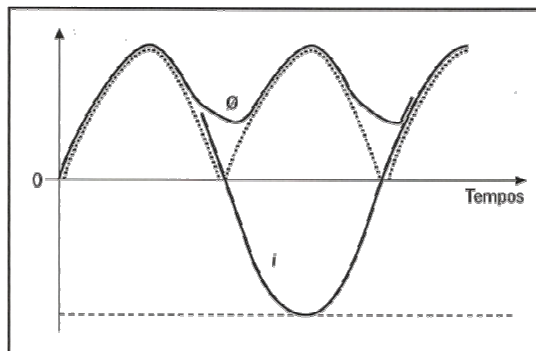


Figura 4.19 - Efeito estroboscópico nas lâmpadas de descarga elétrica [12].

4.3.9 - ESTABILIZAÇÃO POR MEIO DE REATORES DUPLOS

No caso de lâmpadas fluorescentes, indica-se a estabilização da descarga através de reatores, cujo circuito simplificado encontra-se na Figura 4.20. Nos estudos anteriores, vimos que a corrente I_1 (lâmpada estabilizada por indutância) estará atrasada da tensão de alimentação e que a corrente I_2 , que percorre um circuito estabilizado por L_2C , predominantemente capacitivo, estará adiantada da tensão de rede. Se associarmos os dois circuitos, é evidente que a corrente I estará praticamente em fase com a tensão (Figura 4.21). Obtivemos assim um circuito "duplo", com elevado fator de potência. Como as correntes I_1 e

I_2 estão defasadas, os momentos de extinção das duas lâmpadas não coincidem, conseguindo-se, dessa forma, uma anulação do efeito estroboscópico.

Consegue-se, também, corrigir o efeito estroboscópico efetuando-se a ligação de lâmpadas próximas nos sistemas trifásicos, entre o neutro, e ou, fases diferentes do sistema. Nesse caso, as correntes nas lâmpadas próximas estariam defasadas 120° .

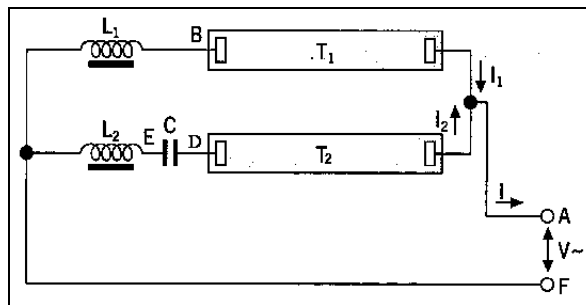


Figura 4.20 – Estabilização da descarga elétrica por reatores duplos [12].

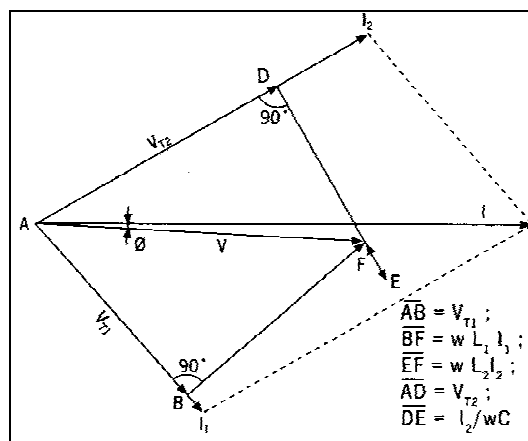


Figura 4.21 - Correção do fator de potência com a utilização de reatores duplos [12]

4.3.10 - OUTROS PROCESSOS DE ESTABILIZAÇÃO DA DESCARGA ELÉTRICA

Os desenvolvimentos dos dispositivos eletrônicos de estado sólido para potências elevadas está abrindo um novo campo para o emprego dos mesmos na regulação das lâmpadas de descarga que, trabalhando em frequências elevadas, têm sua eficiência luminosa aumentada. Com sua utilização, também, temos redução no peso, no ruído e nas dimensões dos equipamentos, além de ser possível estabilizar variações na tensão de alimentação e minimizar o efeito estroboscópico.

4.3.11 - VIDA E CORRENTE DE PARTIDA DAS LÂMPADAS DE DESCARGA ELÉTRICA

É uma boa idéia diminuir o número de vezes que se acendem e se apagam, em um dia, as lâmpadas de descarga elétrica. Quando reduzimos o número de partidas, estamos aumentando a vida das lâmpadas. Isso se deve ao fato de existir maior desgaste do material ativo dos eletrodos no momento da ignição e também, nesses momentos, a lâmpada fica sujeita a maiores variações de tensão elétrica, temperatura e pressões internas.

Normalmente, especifica-se a "vida média" válida para um lote de lâmpadas, funcionando em períodos contínuos de 3 h quando 50% do lote está "morto". Considera-se como "morta" a lâmpada que não mais se acende. Fluxo luminoso nominal é o fluxo produzido pela lâmpada depois de ter sido "sazonada", isto é, tenha funcionado aproximadamente 1% de sua vida provável. O conceito de vida é bastante variável conforme os fabricantes e usuários (Figura 4.22).

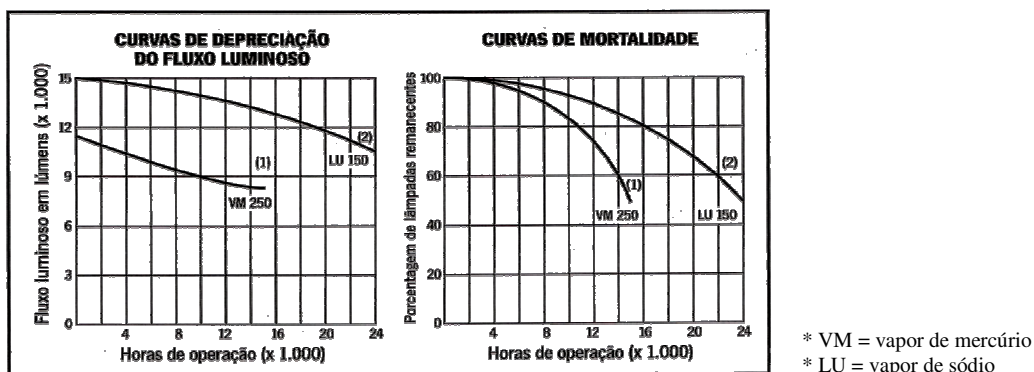


Figura 4.22 - Curvas de depreciação e mortalidade de lâmpadas (cortesia G.E.) [12].

4.3.12 - CORRENTE DE PARTIDA DAS LÂMPADAS DE DESCARGA ELÉTRICA

Praticamente todas as lâmpadas de descarga elétrica, e, em especial, as de alta pressão, possuem uma corrente de partida de 30 a 80% maior que a de funcionamento estável. Por esse motivo, na ocasião do dimensionamento dos fusíveis, disjuntores, contatores e dos circuitos elétricos que as alimentam, essa corrente maior de partida e seu tempo de duração devem ser levados em consideração. Recomenda-se sempre a proteção desses circuitos através de fusíveis ou disjuntores retardados.

4.3.13 – REATORES ELETRÔNICOS

Esses reatores são constituídos por três diferentes blocos funcionais, ou seja: fonte, inversor e circuito de partida e estabilização.

A fonte é responsável pela redução da tensão da rede de alimentação e conversão dessa tensão na frequência de 50/60 Hz em tensão contínua. Adicionalmente, a fonte desempenha as seguintes funções:

- suprime os sinais de radiofrequência para compatibilizar com a classe de imunidade do reator;
- protege os diversos componentes eletrônicos do conversor contra surtos de tensão;
- protege a rede de alimentação contra falhas do conversor;
- limita a injeção de componentes harmônicos no sistema de alimentação.

O inversor é responsável pela conversão da tensão contínua em tensão ou corrente alternada de alta frequência, dependendo do tipo de lâmpada utilizado.

O circuito de partida e estabilização, está associado normalmente ao inversor. Em geral, são utilizadas indutâncias e capacitâncias combinadas de forma a fornecer adequadamente os parâmetros elétricos que a lâmpada requer.

Os reatores eletrônicos possuem vantagens sobre os reatores eletromagnéticos, apesar de seu preço ser significativamente superior ao reator eletromagnético, ou seja:

- reduzem as oscilações das lâmpadas devido à alta frequência com que operam;
- atenuam ou praticamente eliminam o efeito estroboscópico;
- operam a alto fator de potência, alcançando cerca de 0,99;
- operam com baixas perdas ôhmicas;
- apresentam, em geral baixa distorção harmônica;

- permitem o uso de dimer e, conseqüentemente, possibilitam obter-se redução do custo de energia;
- permitem elevar a vida útil da lâmpada;
- permitem ser associados a sistemas automáticos de controle e conservação de energia.

4.3.14 – LÂMPADAS FLUORESCENTES

São lâmpadas de descarga a baixa pressão, podendo ter cátodos quentes (com ou sem preaquecimento) ou cátodos frios. Procura-se obter nas lâmpadas fluorescentes o máximo de radiações ultravioleta (253,7nm), que serão transformadas em luz visível pela camada fluorescente que recobre internamente o bulbo. A pressão ótima do vapor de mercúrio para essa aplicação é de aproximadamente 0,666 Pa, que se obtém com uma temperatura de 40°C no bulbo.

4.3.14.1 – LÂMPADAS FLUORESCENTES DE CATODO QUENTE COM PRAQUECIMENTO

Constam (Figura 4.23) de um longo tubo de vidro, em cujas extremidades se localizam os eletrodos de tungstênio triplamente espiralados, recobertos com uma camada de óxidos emissores de elétrons. Quando em funcionamento, a temperatura dos filamentos atinge 950°C, possibilitando a correta emissão eletrônica. A parte interna do tubo é recoberta pela camada fluorescente, de cuja natureza depende a composição espectral do fluxo luminoso produzido. O meio interno é uma atmosfera de gás argônio, existindo também pequena gota de mercúrio que será vaporizada no momento da partida.

Assim como em todas as lâmpadas de descarga elétrica, a intensidade da corrente no arco deverá ser estabilizada por um reator.

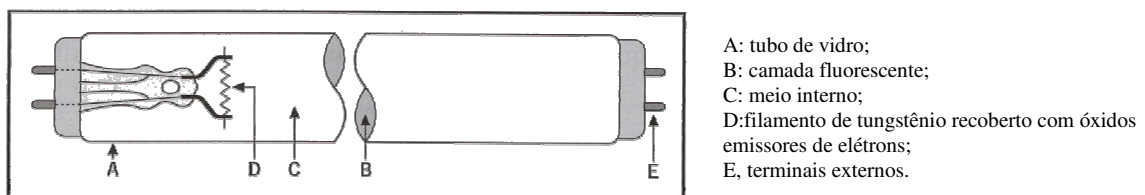


Figura 4.23 - Partes componentes de uma lâmpada fluorescente [12].

4.3.14.2 – CIRCUITO "CONVENCIONAL" DE FUNCIONAMENTO: LÂMPADA, REATOR E DISPOSITIVO DE PARTIDA

Fechando-se o interruptor (X) e apertando-se o dispositivo de partida (S) [contato normalmente aberto (NA)], a corrente elétrica fluirá através do circuito (em um semiciclo) AFSSFRB, aquecendo os filamentos que emitirão elétrons (Figura 4.24). Se abrirmos agora o botão S, produziremos uma variação de corrente elétrica que será responsável pela geração, na indutância do reator, de uma elevada força eletromotriz de auto-indução, que provocará formação de um arco elétrico entre os filamentos, acendendo a lâmpada. A partir desse instante, o reator continuará funcionando como um estabilizador da intensidade da corrente na lâmpada, aos valores desejados de projeto.

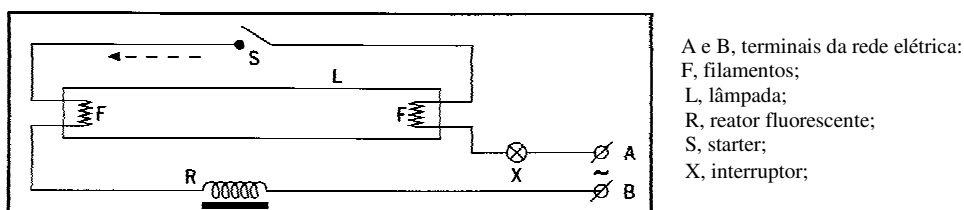


Figura 4.24 - Circuito básico de funcionamento de uma lâmpada fluorescente [12].

Na prática utiliza-se um dispositivo de partida (S) de funcionamento automático, vulgarmente denominado *starter*. O tipo mais comum (Figura 4.25) consiste num pequeno bulbo de vidro que encerra em seu interior gás argônio ou neônio e dois eletrodos, sendo um fixo e o outro uma lâmina bimetálica recurvada. O bulbo é encerrado em uma cápsula cilíndrica de proteção e ligado aos dois terminais de contato externo.

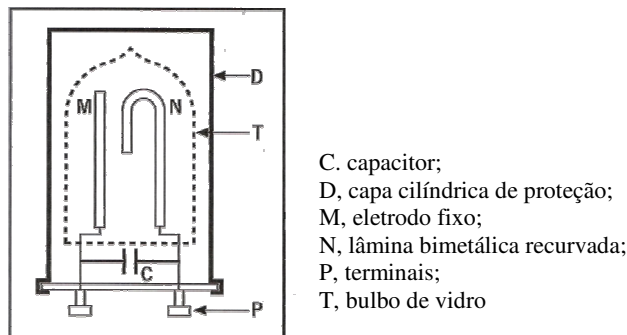


Figura 4.25 - Dispositivo de partida (starter) para lâmpadas fluorescentes [12].

Fechando-se a chave geral X da Figura 4.24, a tensão da rede elétrica é suficiente para produzir um arco elétrico entre os dois eletrodos (M e N) do starter. O calor gerado nessa descarga faz distender a lâmina bimetálica, que então estabelece o contato elétrico direto entre M e N, fechando o circuito, que fornece a corrente de preaquecimento dos catodos (F) da lâmpada. Como agora não existe arco elétrico entre os eletrodos M e N do dispositivo de partida, a lâmina bimetálica se resfria, voltando a posição original, interrompendo a corrente no circuito de partida (AXFSFRB) e provocando o aparecimento, como vimos, da força eletromotriz de auto-indução na indutância do reator. Esse surto de tensão é suficiente para dar partida a lâmpada, o que é facilitado pela anterior emissão eletrônica dos eletrodos (F) durante o período de preaquecimento. Na operação normal, a corrente flui no circuito AXFFRB, não existindo, entre M e N, tensão suficiente para ionizar o starter, que ficará inativo. O capacitor (C) presente dentro do invólucro do dispositivo de partida tem a finalidade de diminuir a interferência da lâmpada sobre os aparelhos eletrônicos próximos.

4.3.14.3 – CIRCUITO "PARTIDA RÁPIDA" DE FUNCIONAMENTO: LÂMPADA E REATOR ESPECIAL

Os reatores de partida rápida não utilizam "starter". Portanto, para se garantir a partida da lâmpada, esta topologia deve aplicar um valor de tensão suficientemente elevado para realizar a partida da lâmpada (numa ampla faixa de temperatura ambiente) ou reduzir a tensão de ignição da lâmpada de alguma forma.

Estes reatores utilizam um transformador, cujos enrolamentos encontram-se magneticamente acoplados com um indutor, para realizar o aquecimento adequado dos filamentos de forma a reduzir a tensão de ignição da lâmpada para valores próximos da tensão C.A. de alimentação. A Figura 4.26 mostra uma versão simplificada desta configuração.

O transformador dispõe de enrolamentos de baixa tensão (3 V a 4 V), ligados em série com o enrolamento secundário, aos quais são conectados os filamentos. Ao contrário dos reatores com pré-aquecimento, existe circulação permanente de corrente pelos filamentos, cujo valor é significativamente reduzido, após a ignição da lâmpada, pelo aumento da resistência dos filamentos com a temperatura e pela queda de tensão no indutor, imposta pela circulação de corrente na lâmpada. A ignição da lâmpada ocorre em menos de 1 segundo, justificando a denominação "partida rápida".

Como a f.e.m. de partida é elevada (aproximadamente três vezes a nominal da rede para uma lâmpada de 40 W), muitas vezes os tubos continuam trabalhando, mesmo depois de seus catodos estarem com seu material emissor esgotado (fim da vida normal da lâmpada). Nesse caso, observa-se forte espiralamento do arco elétrico interno, flashes amarelados no tubo e enegrecimento de uma ou de ambas extremidades. Tais lâmpadas deverão ser imediatamente substituídas. É aconselhável, por motivos de segurança, que o circuito elétrico de alimentação do reator e o soquete da lâmpada sejam dispostos de tal forma que, ao se retirar a lâmpada da luminária, o reator fique desenergizado.

4.3.14.5 – LÂMPADAS FLUORESCENTES DE CATODO FRIO

Seu catodo consiste em um cilindro de ferro (C na Figura 4.28) de amplas dimensões, o que proporciona longa vida as lâmpadas. A temperatura de operação desse eletrodo está por volta de 150°C.

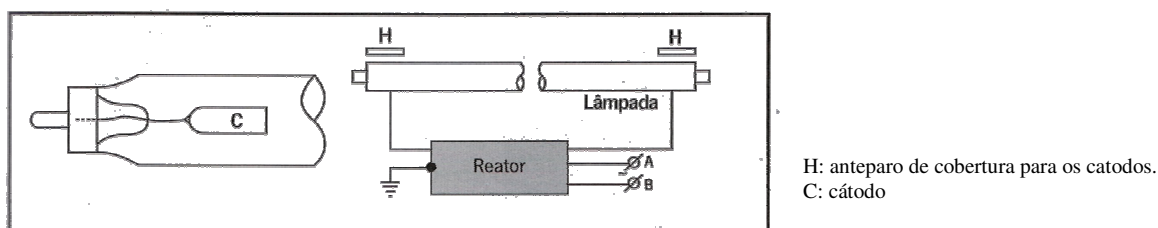


Figura 4.28 - Circuito básico de funcionamento de uma lâmpada fluorescente de cátodo frio [12].

Devido às maiores dimensões dos eletrodos, essas lâmpadas apresentam, em suas extremidades, um comprimento de bulbo não-produtor de luz que deve, por questões estéticas, ser recoberto com um anteparo (H). A tensão necessária à partida, que se dá por diferença de campo elétrico, é da ordem de cinco a sete vezes a de funcionamento, obrigando a utilização de reatores de alta indutância (baixo $\cos \phi$) e um ótimo isolamento dos componentes elétricos do circuito.

A emitância dessas lâmpadas é aproximadamente a metade das de catodo quente, sendo seu comprimento, para a mesma potência, aproximadamente o dobro, o que obriga a utilização de luminárias maiores e mais caras.

Suas únicas vantagens são a vida longa (aproximadamente 25.000 h) e a partida instantânea, motivo pelo qual poderiam ser indicadas para aplicação em locais de difícil acesso e manutenção.

4.3.14.6 – MODERNAS LÂMPADAS FLUORESCENTES

Durante vários anos, as lâmpadas fluorescentes de cátodo quente de 15,16, 20, 30,36, 40, 65 e 110W, nas tonalidades luz do dia e branca fria, diâmetros T10 (33mm) e T12 (38mm), eram praticamente as únicas utilizadas no Brasil.

A grande revolução das fluorescentes ao longo dos anos ficou por conta da redução do seu diâmetro para T8 (26mm) e T5 (16mm) (com a maior possibilidade de desenvolvimento ótico dos refletores de alumínio de alto brilho das luminárias) e do aperfeiçoamento dos sais fluorescentes (trifosforos de elevada eficiência na transformação do ultra-violeta em luz).

Compactação, aumento na eficiência energética (chegando até 100 lm/W), melhoria do índice de reprodução das cores e possibilidade de uso intensivo de reatores eletrônicos de alta frequência (de baixas perdas, sem ruído e efeito estroboscópico nulo). Toda essa evolução teve duas finalidades básicas (Figura 4.29):

- a) produzir uma gama de lâmpadas de alta eficiência para substituir as fluorescentes tradicionais.
- b) produzir lâmpadas fluorescentes, de baixa potência (7 a 25W), para substituir as incandescentes de até 150W. Essas novas fluorescentes possuem bulbos T5 com diâmetro de 16mm dobrados várias vezes para torná-las "compactas". O "starter" está embutido em suas bases e várias delas possuem reatores eletrônicos incorporados possibilitando uma substituição direta das incandescentes. Como são fabricadas com "trifosforos" de diferentes temperaturas de cor (aprox. 5.000K, 4.000K e 2.800K) permitem sua correta integração às cores dos ambientes a iluminar. Com sua utilização, além da grande economia de energia elétrica (da ordem de 50 a 70%), conseguimos minimizar a manutenção, pois sua vida é aproximadamente 10 vezes superior a das lâmpadas incandescentes de uso geral.



Figura 4.29 – Exemplos de modernas lâmpadas fluorescentes [26].

CAPÍTULO V – APARELHOS DE ILUMINAÇÃO INTERNA

5.1 – INTRODUÇÃO

Os aparelhos de iluminação, ou seja, as luminárias, são os equipamentos que recebem a fonte de luz (lâmpada) e modificam a distribuição espacial do fluxo luminoso produzido pela mesma. Suas partes principais são:

- o receptáculo para a fonte luminosa.
- os dispositivos para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso emitido pela fonte luminosa (refletores, refratores, difusores, colméias, etc.).
- a carcaça, órgãos acessórios, e de complementação.

As luminárias têm papel extremamente importante em um sistema de iluminação, pois elas contribuem diretamente para uma distribuição eficiente da luz no ambiente e o conforto visual das pessoas. Além dos seus requisitos básicos de manter uma boa conexão mecânica e elétrica entre as lâmpadas e os equipamentos auxiliares, devem proporcionar a segurança necessária para a instalação, bem como a correta emissão do fluxo luminoso da lâmpada no ambiente sem causar ofuscamento.

Quando tratamos de luminárias decorativas, não podemos exigir que esse tipo de produto apresente desempenho ou performance adequados.

5.2 – RECEPTÁCULO PARA FONTE LUMINOSA

Trata-se do elemento de fixação, que funciona como contato elétrico entre o circuito de alimentação externo e a lâmpada. Os mais comuns são do tipo rosca. Podemos também encontrar soquetes tipo baioneta, de pinos, tipo flange, cartucho, etc. A forma do dispositivo de fixação dependerá, exclusivamente, do tipo de lâmpada a ser empregada na luminária.

5.3 – DISPOSITIVOS PARA MODIFICAÇÃO ESPACIAL DO FLUXO LUMINOSO EMITIDO PELA FONTE

São os sistemas que se destinam a orientar o fluxo luminoso da lâmpada na direção desejada.

5.3.1 – REFLETORES

Refletor é o dispositivo que serve para modificar a distribuição espacial de fluxo luminoso de uma fonte, utilizando essencialmente o fenômeno da reflexão especular. Os perfis de refletores utilizados são os circulares, os parabólicos, os elípticos e os de formas especiais normalmente assimétricos. Cada um deles possui sua aplicação específica, conforme a Figura 5.1.

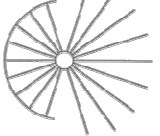
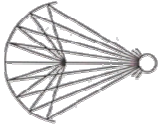
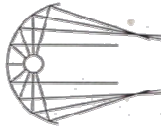
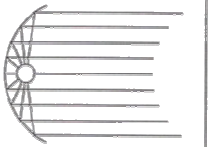
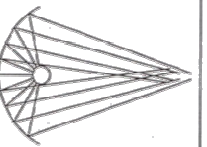
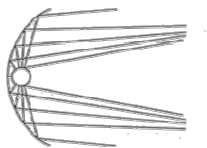
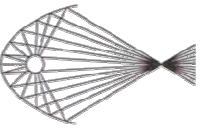
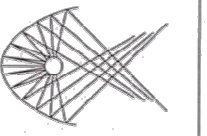
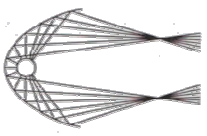
Refletor	Localização da fonte de luz		
	No foco	Adiante do foco	Atrás do foco
Circular			
Parabólico			
Elíptico			

Figura 5.1 – Aplicações específicas dos perfis básicos dos refletores [12].

5.3.2 – REFRACTORES E LENTES

São os dispositivos que modificam a distribuição do fluxo luminoso de uma fonte utilizando o fenômeno da transmitância. Em muitas luminárias esses dispositivos têm como

finalidade principal a vedação da luminária, protegendo os órgãos internos contra poeira, chuva, poluição e impactos. É o caso das luminárias que utilizam vidro plano frontal temperado à prova de choques térmicos e mecânicos. Nesse caso, não existe modificação espacial do fluxo luminoso provindo do conjunto lâmpada-refletor.

Os prismas simples raramente são empregados. Nos aparelhos de iluminação podemos encontrá-los como placas compostas de várias unidades, formando um refrator.

Quando o número de prismas tende para infinito, temos uma lente. As luminárias comuns raramente empregam lentes devido a seu custo elevado. Elas são mais encontradas em projetores de fecho estreito; spot lights para teatro, cinema e televisão; aparelhos de projeção, etc. Em muitas aplicações, utilizamos, por medida de economia, as lentes tipo Fresnel (Figura 5.2).



Figura 5.2 - Aparelho para iluminação usado em teatro, cinema ou televisão, dotado de lente tipo Fresnel, com abertura de fecho variável [12].

5.3.3 – DIFUSORES E COLMÉIAS

Os difusores são elementos translúcidos, foscos ou leitosos, colocados em frente à fonte de luz com a finalidade de diminuir sua luminância, reduzindo as possibilidades de ofuscamento. É o caso das placas de vidro fosco ou bacias de plástico acrílico ou policarbonato das luminárias fluorescentes. Podem também ser utilizados para conseguir-se um aumento da abertura de fecho de uma luminária.

As colméias (grades) funcionam como refletores especulares (Figura 5.3B), como difusores, como refletores ou como absorvedores de fluxo luminoso disperso, quando se desejam luminárias com maior controle do fecho luminoso ou em locais onde existam problemas de ofuscamento.

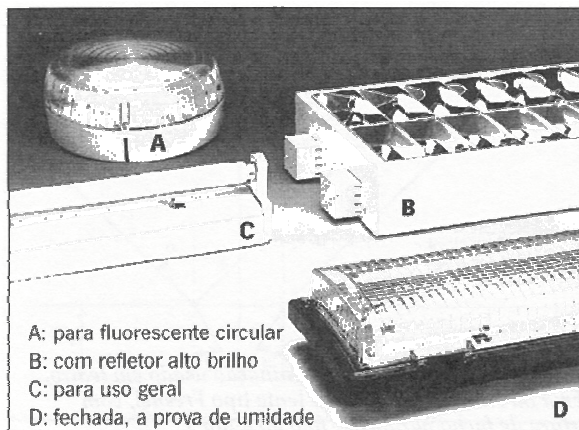


Figura 5.3 – Quatro modelos de luminárias fluorescentes. Fonte: Moreira (1999)

5.3.4 – CARCAÇA, ÓRGÃOS DE FIXAÇÃO E DE COMPLEMENTAÇÃO

As estruturas básicas das luminárias podem ser construídas de diversos materiais. Nas luminárias fluorescentes, de projeto simplificado, a carcaça e o próprio refletor, de chapa de aço, com acabamento em tinta esmaltada branca (Figura 5.3C). A espessura da chapa deverá ser compatível com a rigidez mecânica do aparelho. A pintura deve ser de boa qualidade, com fosfatização prévia, para melhor aderência e estabilidade.

Nas luminárias para usar ao tempo ou para funcionar em ambientes unidos, dá-se preferência às carcaças de alumínio sob a forma de chapas e fundição ou plásticos de engenharia devidamente estabilizados contra as radiações (Figura 5.3D). Existem fortes restrições ecológicas à construção de estruturas de luminárias com poliéster reforçado com fibra de vidro (fiber glass) devido a dificuldade de sua futura reciclagem e sua baixa durabilidade quando expostas diretamente às radiações externas (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Comparação alumínio x plástico reforçado nas luminárias [12]

Nº	Característica	Plástico reforçado	Alumínio
1	Investimento no ferramental	Baixo	Médio
2	Poluição na fabricação	Alta	Média
3	Resistência a agentes químicos	Alta	Média
4	Condutibilidade térmica	Baixa	Alta
5	Peso da peça pronta	Baixo	Médio
6	Temperatura interna no trabalho	Alta	Baixa
7	Resistência às radiações UV	Baixa	Alta
8	Vida em ambientes normais	Média	Alta
9	O material é reciclável	Não	Sim
10	Aplicações típicas	Indústria naval Moveleira Piscinas	Aeronáutica Automóveis Construção civil

5.4 – TIPOS DE LUMINÁRIAS

5.4.1 – LUMINÁRIA TBS 910/232

Luminária de embutir para lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W, utilizada para iluminação comercial de interiores. Corpo em chapa de aço e acabamento com pintura eletroestática na cor branca. A altura das aletas garante uma luminária com perfil muito baixo, de fácil integração com o ambiente. O sistema óptico é constituído de refletor parabólico de alumínio facetado de alto rendimento luminoso e baixa luminância para evitar as reflexões no ambiente e proporcionar um excelente conforto visual (Figura 5.4).

São aplicadas em áreas informatizadas em geral que requeiram o máximo conforto com limitação do ofuscamento: escritórios, bancos, indústrias, auditórios, etc.



Figura 5.4 - Luminária TBS 910/232 [17]

Descrição

Corpo em chapa de aço, além de possuir sistema refletor e aletas parabólicas em alumínio. Fabricante Philips.

Rendimento da Luminária

Usando-se duas lâmpadas fluorescentes de 32W, possui rendimento de 64%.

Categoria

Essa é uma luminária aberta por baixo com colméia, sendo mais de 15% do seu fluxo emitido para cima, portanto se enquadra na categoria 2.

Tabela Fator de Utilização

Para duas lâmpadas fluorescentes 32W(Tabela 5.2).

Tabela de Fator de Utilização - TBS 910/232 - 2 x TLD RS 32W												
Fator de Área K	80		70				50		30		0	
	50	50	50	50	50	30	30	10	30	10	10	0
	30	10	30	20	10	10	10	10	10	10	10	0
0.60	.37	.35	.37	.36	.35	.31	.31	.28	.31	.28	.27	
0.80	.45	.42	.44	.43	.42	.38	.37	.35	.37	.35	.33	
1.00	.51	.47	.50	.48	.47	.43	.43	.40	.42	.40	.39	
1.25	.56	.51	.55	.53	.51	.48	.47	.45	.47	.45	.43	
1.50	.60	.55	.59	.56	.54	.51	.50	.48	.50	.48	.47	
2.00	.66	.59	.64	.61	.58	.56	.55	.53	.54	.53	.51	
2.50	.69	.61	.67	.64	.60	.59	.58	.56	.57	.56	.54	
3.00	.72	.63	.70	.66	.62	.60	.59	.58	.59	.57	.56	
4.00	.74	.64	.72	.68	.64	.62	.61	.60	.60	.59	.58	
5.00	.76	.65	.74	.69	.65	.63	.62	.61	.61	.60	.59	

Tabela 5.2 - Fator de utilização para luminária TBS 910/232 [17].

5.4.2 – LUMINÁRIA TCS 029

Luminária de sobrepor para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W ou duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 16W, para iluminação comercial de interiores. Conjunto óptico em chapa de aço dobrada e pintada proporcionando boa distribuição de luz e bom rendimento luminoso (Figura 55).

São aplicadas na iluminação interna de escritórios, bancos, indústrias, lojas, escolas, bibliotecas, residências, Etc.



Figura 5.5 - Luminária TCS 029 [17].

Descrição

Corpo refletor e conjunto óptico em chapa de aço, com pintura eletroestática em tinta epoxi na cor branca brilhante. Fabricante Philips.

Rendimento da Luminária

Usando-se duas lâmpadas fluorescentes de 32W, possui rendimento de 62% e usando-se duas lâmpadas fluorescentes de 16W, possui rendimento de 62%.

Categoria

Essa é uma luminária aberta por baixo com colméia, sendo mais de 15% do seu fluxo emitido para cima, portanto se enquadra na categoria 2.

Tabela Fator de Utilização

Para duas lâmpadas fluorescentes 16W e duas lâmpadas fluorescentes 32W (Tabela 5.3).

Fator de Área K	80			70			50		30		0
	50	50	30	50	50	30	30	10	30	10	0
K	30	10	10	30	10	30	10	10	10	10	0
0.60	.31	.30	.25	.31	.29	.26	.25	.22	.24	.22	.20
0.80	.38	.36	.31	.37	.35	.32	.30	.27	.30	.27	.26
1.00	.44	.40	.36	.43	.40	.37	.35	.32	.35	.32	.31
1.25	.49	.45	.41	.48	.44	.43	.40	.37	.39	.37	.35
1.50	.53	.48	.44	.52	.47	.47	.43	.40	.42	.40	.39
2.00	.59	.53	.49	.58	.52	.53	.48	.46	.47	.45	.44
2.50	.63	.56	.53	.61	.55	.57	.51	.49	.50	.49	.47
3.00	.66	.58	.55	.64	.57	.60	.54	.52	.53	.51	.50
4.00	.69	.60	.58	.67	.59	.64	.56	.55	.55	.54	.52
5.00	.71	.61	.60	.69	.61	.67	.58	.57	.57	.56	.54

Fator de Área K	80			70			50		30		0
	50	50	30	50	50	30	30	10	30	10	0
K	30	10	10	30	10	30	10	10	10	10	0
0.60	.31	.30	.25	.31	.29	.26	.25	.22	.24	.22	.20
0.80	.38	.36	.31	.37	.35	.32	.30	.27	.30	.27	.26
1.00	.44	.40	.36	.43	.40	.37	.35	.32	.35	.32	.31
1.25	.49	.45	.41	.48	.44	.43	.40	.37	.39	.37	.35
1.50	.53	.48	.44	.52	.47	.47	.43	.40	.42	.40	.39
2.00	.59	.53	.49	.57	.52	.53	.48	.46	.47	.45	.44
2.50	.63	.55	.53	.61	.55	.57	.51	.49	.50	.49	.47
3.00	.66	.57	.55	.64	.57	.60	.53	.52	.53	.51	.49
4.00	.69	.60	.58	.67	.59	.64	.56	.55	.55	.54	.52
5.00	.71	.61	.59	.69	.60	.66	.58	.56	.57	.56	.54

Tabela 5.3 - Fator de utilização para luminária TCS 029 [17].

5.4.3 – LUMINÁRIA TCK 431

Luminária de sobrepor para iluminação industrial e comercial de interiores, própria para uma ou duas lâmpadas fluorescente tubulares de 110W. O corpo refletor é feito em chapa de aço pintada e dobrada proporcionando um bom rendimento luminoso (Figura 5.6).

São aplicadas na iluminação interna de áreas industriais e comerciais em geral, tais como depósitos, oficinas, galpões, garagens, armazéns, almoxarifados, supermercados, etc.



Figura 5.6 - Luminária TCK 431[17].

Descrição

Corpo e refletor fabricado em chapa de aço e com acabamento em pintura eletroestática, utilizando tinta epoxi na cor branca brilhante com bom poder de reflexão. Fabricante Philips.

Rendimento da Luminária

Usando-se uma lâmpada fluorescente de 110W, possui rendimento de 86% e usando-se duas lâmpadas fluorescentes de 110W, possui rendimento de 81 %

Categoria

Essa é uma luminária aberta por baixo com colméia, sendo menos de 15% do seu fluxo luminoso emitido para cima através de aberturas, portanto se enquadra na categoria 3.

Tabela Fator de Utilização

Para uma lâmpada fluorescente de 110W e para duas lâmpadas fluorescentes de 110W (Tabela 5.4).

Tabela de Fator de Utilização - TCK 431 - 1 x TLFS 110 W											
Fator de Área K	80			70			50		30		0
	50	50	30	50	50	30	30	10	30	10	0
0,60	.38	.36	.29	.37	.35	.29	.28	.24	.28	.24	.22
0,80	.47	.44	.37	.46	.43	.38	.36	.31	.35	.31	.29
1,00	.54	.50	.43	.53	.49	.45	.42	.37	.41	.37	.35
1,25	.62	.56	.50	.60	.56	.52	.48	.43	.47	.43	.41
1,50	.67	.61	.55	.66	.60	.58	.53	.49	.52	.48	.46
2,00	.76	.68	.62	.74	.67	.67	.60	.57	.59	.56	.53
2,50	.82	.73	.68	.80	.72	.73	.66	.62	.64	.61	.59
3,00	.87	.76	.72	.84	.75	.78	.69	.66	.68	.65	.63
4,00	.92	.80	.76	.89	.79	.85	.74	.71	.72	.70	.67
5,00	.96	.82	.79	.93	.81	.89	.77	.75	.75	.73	.71

Tabela de Fator de Utilização - TCK 431 - 2 x TLFS 110 W												
Fator de Área K	80			70			50		30		0	
	50	50	30	50	50	30	30	10	30	10	10	0
0,60	.39	.36	.30	.37	.36	.31	.29	.25	.29	.25	.24	.24
0,80	.47	.44	.37	.46	.43	.38	.37	.32	.36	.32	.30	.30
1,00	.54	.50	.44	.53	.49	.45	.43	.38	.42	.38	.36	.36
1,25	.61	.56	.50	.60	.55	.52	.48	.44	.48	.44	.42	.42
1,50	.66	.60	.54	.65	.59	.58	.53	.49	.52	.49	.47	.47
2,00	.74	.66	.62	.72	.65	.66	.60	.56	.59	.56	.54	.54
2,50	.80	.70	.66	.78	.70	.72	.64	.61	.63	.60	.58	.58
3,00	.84	.73	.70	.81	.72	.76	.68	.65	.66	.64	.62	.62
4,00	.89	.77	.74	.86	.76	.82	.72	.69	.70	.68	.66	.66
5,00	.92	.79	.76	.89	.78	.85	.74	.72	.73	.71	.69	.69

Tabela 5.4 - Fator de utilização para luminária TCK 431 [17].

5.4.4 – LUMINÁRIA TBH 925

Luminária de embutir para iluminação comercial de interiores, própria para uma ou duas lâmpadas fluorescente tubulares TL 14W. O corpo refletor é feito de alumínio brilhante de alto rendimento luminoso. Essa luminária é própria para ser usada com quatro lâmpadas fluorescente TL5 de 14W. O design e o alto rendimento do conjunto óptico aliado à alta eficiência das lâmpadas fluorescentes TL5, garantem uma aplicação de baixo consumo de energia e excelente conforto visual (Figura 5.7).

São aplicadas em áreas comerciais em geral que requeiram iluminação confortável com produtos elegantes e sofisticados que se integrem com o ambiente: escritórios, lojas, bancos, escolas, hotéis, etc.



Figura 5.7 - Luminária TBH 925 [17].

Rendimento da Luminária

Usando quatro lâmpadas fluorescente de 14W, possui rendimento de 71%.

Categoria

Essa é uma luminária aberta por baixo e sem aberturas superiores, portanto se enquadra na categoria 4.

Tabela Fator de Utilização

Para quatro lâmpadas fluorescentes TL5 14W (Tabela 5.5).

Tabela de Fator de Utilização - TBH 925 - 4 x TL5 14W

Fator de Área K	80		70				30		50		0
	50	50	50	50	50	30	30	10	30	10	0
	30	10	30	20	10	10	10	10	10	10	0
0.60	.42	.40	.41	.40	.39	.35	.34	.31	.34	.31	.30
0.80	.50	.47	.49	.48	.46	.42	.42	.39	.41	.38	.37
1.00	.56	.52	.55	.53	.52	.48	.47	.44	.47	.44	.43
1.25	.62	.57	.61	.59	.56	.53	.52	.50	.52	.49	.48
1.50	.66	.60	.65	.62	.60	.56	.56	.53	.55	.53	.52
2.00	.73	.65	.71	.68	.64	.62	.61	.59	.60	.58	.57
2.50	.77	.68	.75	.71	.67	.65	.64	.62	.63	.62	.60
3.00	.79	.69	.77	.73	.69	.67	.66	.64	.65	.64	.62
4.00	.82	.71	.80	.75	.71	.69	.68	.67	.67	.66	.64
5.00	.84	.72	.82	.76	.72	.70	.69	.68	.68	.67	.65

Tabela 5.5 - Fator de utilização para luminária TBH 925 [17].

CAPÍTULO VI – GUIA DE ORIENTAÇÃO PARA APLICAÇÃO EM PROJETO

6.1 – OBJETIVOS DA ILUMINAÇÃO

Na execução de um projeto de iluminação devemos ter em mente algumas regras tais como:

a) Sempre procurar obter um nível de iluminância, com a densidade de luz necessária, de acordo com a tarefa visual que será realizada no ambiente. Para isso, existem normas técnicas brasileiras e internacionais que orientam o projetista. Esses valores são orientativos, pois variam bastante com as normas técnicas regionais. Também a idade média dos ocupantes de um recinto influenciará a determinação de seu nível de iluminância. Conforme pesquisas realizadas verifica-se que, se um homem de 40 anos realiza uma tarefa de leitura com 200 lux, uma criança só necessita de 30% desse nível, um jovem de 20 anos de 50%, e um homem de 60 anos de 500% de seu valor básico. O nível recomendado varia, também, com a duração do trabalho sob iluminação artificial devendo ser mais elevado para as longas jornadas. Deve-se lembrar também que nossos olhos não distinguem, na realidade, níveis de iluminância, mas sim de luminância, que é definida como a intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície existente. Por exemplo, o papel branco deste trabalho tem maior luminância que suas letras, mas ambos estão sob um mesmo nível de iluminância. Essa diferença de luminâncias, que permite a visão das letras por meio de contraste, deve-se à diferença entre as refletâncias do papel e das letras. Portanto, o fenômeno da visão é muito mais preciso quando estudado sob a forma de luminâncias. Contudo, na prática, ainda se dá preferência ao conceito de nível de iluminância, pois sua medida pode ser executada com maior facilidade e segurança, ao passo que a medição de luminâncias exige maior técnica, equipamentos mais caros e complexos, resultando muitas vezes em erros grosseiros no resultado. A Tabela 6.1 mostra alguns exemplos de níveis de iluminância recomendados segundo a NBR 5413 da ABNT [12].

Exemplo de Área ou atividade	Iluminância (lux)
Áreas externas de circulação	20
Depósito esternos	30
Passagens e plataformas externas, ares de estacionamento internas	50
Docas e cais	75
Teatro e salas de concreto, quarto de hotéis, banheiros	100
Áreas de circulação em indústrias e depósitos	150
Trabalho bruto em máquinas, processos gerais nas indústrias químicas e alimentícias	300
Montagem de veículos, escritórios em geral e lojas	500
Revisão de impressos, salas de desenhos em geral e escritório com máquinas	750
Montagem de máquinas de escritório, trabalho com cores e tarefas críticas, desenho	1000
Montagem de equipamentos eletrônicos e inspeção de peças pequenas e complexas	1500
Áreas de operação cirúrgica, fabricação de relógios e trabalho de grande precisão	2000

Tabela 6.1- Tabela de níveis de iluminância extraída da NBR 5413 da ABNT

b) Procurar obter uma distribuição razoavelmente uniforme das iluminâncias nos planos iluminados. O valor do fator de uniformidade (relação entre a menor e a maior iluminância obtida no local) mínimo necessário dependerá da utilização a ser feita do local iluminado. Nas aplicações gerais de iluminação interior, o fator de uniformidade deverá ser superior a 0,33. Se existe combinação de iluminação local (para um pequeno trecho do ambiente) com a geral, o fator de uniformidade entre ambas deve ser superior a 0,2 [12].

c) Evitar o ofuscamento das pessoas que se utilizam do local. O ofuscamento é a impressão de mal estar que o olho humano experimenta quando recebe fluxo luminoso de uma fonte de alta luminância. Sua conseqüência imediata é a perturbação da capacidade visual do indivíduo, sendo capaz de dificultar e mesmo impedir a função visual perfeita. É uma conseqüência direta das diferenças de luminância. Para que seja evitado, devemos evitar fontes de luz de grande potência no ângulo de visão das pessoas. Isso é conseguido elevando-se a altura das luminárias ou colocando-se colméias e grades antiofuscantes na mesma. Deve-se também limitar as diferenças de iluminância entre diversas partes do campo visual humano aos seguintes valores:

- Entre a tarefa visual e superfície de trabalho, 3:1
- Entre a tarefa visual e espaço circundante, 10:1
- Entre a fonte de luz e fundo, 40:1 [12].

d) Obter uma correta reprodução das cores dos objetos e ambientes iluminados. A impressão da cor de um objeto depende da composição espectral da luz que o ilumina, de suas refletâncias espectrais e do sentido da visão humana. Portanto, a cor não é exatamente uma propriedade fixa e permanente em um objeto, mas o que se enxerga como cor é o fluxo luminoso refletido pelo mesmo. Um objeto visto verde só será verde para um observador, se o fluxo luminoso incidente contiver radiações verdes que possam ser refletidas pelo objeto em direção a este observador. O sentido de visão se adapta à cor da luz e tem tendência a considerá-la como branca, ainda que isso seja uma anomalia. Depois de algum tempo em um quarto iluminado com luz azul, nós enxergamos uma luz branca oriunda de uma janela, como alaranjada e a própria luz do quarto como branca. Portanto, todo cuidado deve ser tomado na escolha criteriosa da fonte de luz, para que o ambiente não fique com suas cores deformadas e a decoração prejudicada pela iluminação artificial. Quando desejamos uma correta reprodução de cores, devemos utilizar fontes de luz de elevado índice de reprodução de cores. A Tabela 6.2 apresenta alguns índices de reprodução de cores mínimos recomendados para diversas aplicações de iluminação [12].

Reprodução desejada	índice	Temperatura cor (K)	Exemplo de recinto
Excelente	90	6000 a 7500	Museus, galerias, lojas, escritórios
Boa	80	4000	Salas de reunião, residências
Razoável	60	3000	Corredores, escadas
Muito baixa	40	-	Iluminação pública

Tabela 6.2 - Tabela de índices de reprodução de cores extraída da NBR 5413 da ABNT

e) Escolher com critério os aparelhos de iluminação e o tipo de lâmpada a ser empregado para que se verifiquem os requisitos anteriores de uma forma econômica, e que essas condições não se degradem sensivelmente com o tempo [12].

f) Lembrar que a iluminação é parte de um projeto global, devendo se harmonizar com o mesmo. Ela define, em muitos casos, as características de um ambiente: se ele é alegre ou sério, frio ou quente, comercial ou íntimo. Deverá também acentuar suas qualidades, valorizando-as ao máximo. Nas residências, restaurantes, boutiques e salas de espera, tem função especificamente decorativa, ao passo que, nos escritórios, fábricas, escolas e locais de

trabalho, procura-se o máximo de funcionalidade [12].

6.2 – ESCOLHA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A escolha do sistema de iluminação a ser usado e a posição e distribuição das luminárias dependem de uma análise do ambiente a ser iluminado e da tarefa visual a ser executada.

Os sistemas de iluminação mais comuns proporcionam:

- Iluminação geral
- Iluminação localizada
- Iluminação dirigida
- Iluminação com efeitos especiais
- Iluminação de fundo
- Iluminação indireta

6.2.1 - ILUMINAÇÃO GERAL

Uma iluminação geral tem por objetivo proporcionar uma iluminância horizontal sobre a área total, com um certo grau de uniformidade. A iluminação média deverá ser igual à iluminância requerida para a tarefa específica. A iluminação geral é obtida por uma distribuição regular de luminárias sobre a área total do teto ou por um número de linhas de luminárias distanciadas regularmente como podemos ver na Figura 6.1.

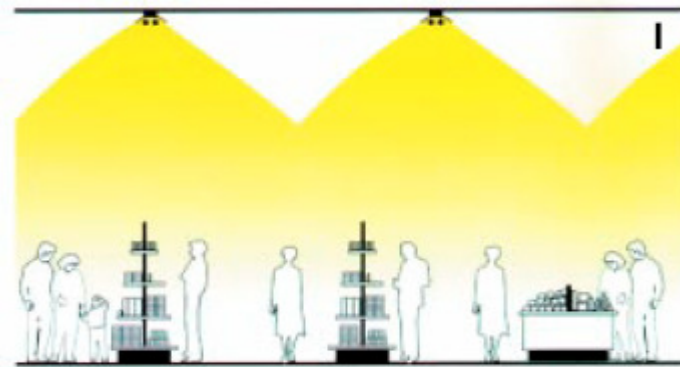


Figura 6.1 – Exemplo de um sistema de iluminação geral [23].

A quantidade de luminárias empregadas será determinada pela distância máxima permitida entre as mesmas, o que é função de sua curva fotométrica, da altura de montagem em relação ao plano de trabalho e do fator de uniformidade a ser obtido. Normalmente o plano de trabalho, quando indefinido na aplicação específica do local, é tomado como sendo a 0,80 m do piso. A distância entre uma luminária e a parede adjacente deverá ser igual ou menor à metade da distância entre as duas luminárias.

Para a correta localização das fontes de luz, devemos ter em mãos as plantas arquitetônicas e dos detalhes do local a ser iluminado. Sempre que possível, a disposição das luminárias deverá ser simétrica, pois facilitará a obtenção de um bom fator de uniformidade. Na Figura 6.2, temos alguns exemplos de disposição de luminárias em iluminação de interiores.

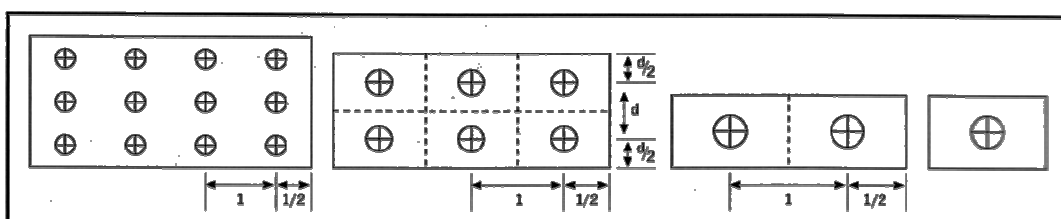


Figura 6.2 – Disposições típicas de montagem para luminárias de iluminação de interior [12].

6.2.2 - ILUMINAÇÃO LOCALIZADA

Iluminação localizada é produzida colocando-se as luminárias perto da tarefa visual de maneira a iluminar somente uma área muito pequena. Este tipo de iluminação é usado quando o trabalho envolve tarefas visuais muito criteriosas e a iluminação geral devido a obstruções, não atinge certas áreas ou quando iluminâncias maiores são necessárias para o benefício de operários mais idosos ou operadores com desempenho visual reduzido. Um exemplo de iluminação localizada pode ser visto na Figura 6.3.



Figura 6.3 – Exemplo de um sistema de iluminação localizada [21].

6.2.3 - ILUMINAÇÃO DIRIGIDA

Numa iluminação dirigida, o fluxo luminoso proveniente da fonte luminosa é especialmente orientado para que a luz seja mais intensa em uma área restrita onde se exija uma visão de forma e textura de um objeto que esteja sendo colocado em exposição. Esse sistema de iluminação pode ser visto com grande frequência em vitrines de lojas, galerias de arte, museus, etc. O objetivo desse sistema de iluminação seria o de destacar as características de forma e textura dos objetos expostos à iluminação dirigida, gerando com isso um poder de atração nas pessoas. Alguns exemplos de iluminação dirigida podem ser vistos na Figura 6.4.

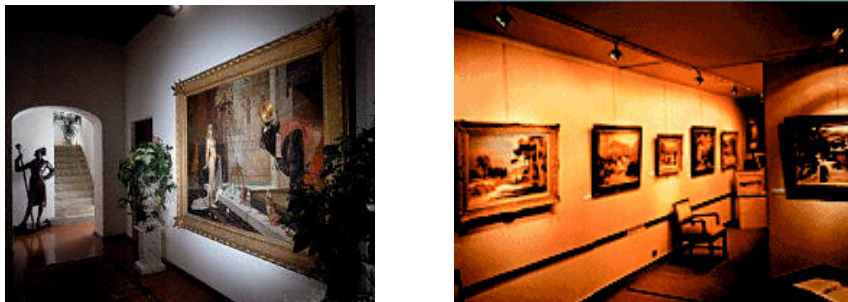


Figura 6.4 – Exemplo de um sistema de iluminação dirigida [23].

6.2.4 - ILUMINAÇÃO COM EFEITOS ESPECIAIS

Nesse sistema de iluminação o fluxo luminoso proveniente da fonte luminosa é especialmente orientado na direção de um objeto ou local sem se preocupar em destacar suas características de textura e forma. O objetivo desse sistema seria o de fazer com que esse objeto ou local iluminado modificasse a atmosfera do ambiente, tomando-o diferente e adequado com o que se quer mostrar com o efeito especial. Esse sistema de iluminação é muito usado em filmes, desfiles de moda, shows de música e eventos onde se necessita criar vários ambientes com o mesmo cenário, através da iluminação com efeitos especiais, obtendo-se com isso uma atmosfera perfeita. Abaixo apresentamos alguns exemplos de iluminação com efeitos especiais. Na Figura 6.5, podemos notar que em um mesmo local conseguimos criar dois ambientes distintos trazendo impressões de frieza com o público (foto da esquerda) e calor humano com os espectadores (foto da direita).

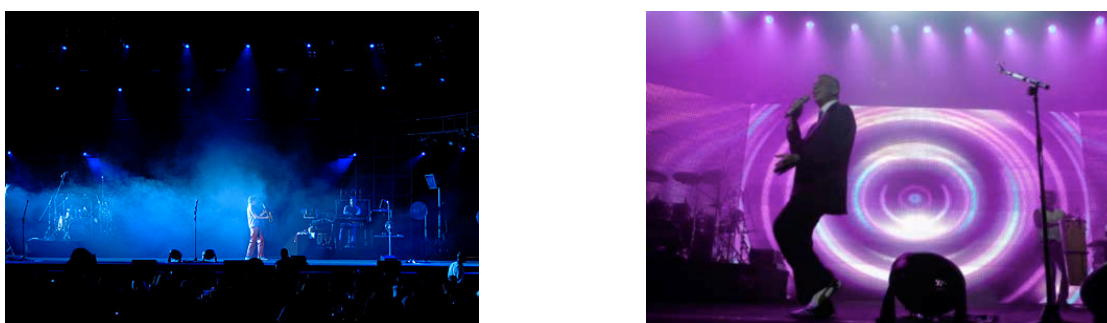


Figura 6.5 - Exemplo de Sistema de iluminação com efeitos especiais [28].

Na Figura 6.6 o uso da iluminação vermelha com toques de efeitos especiais modifica o ambiente tomando-o propício ao consumo dos produtos vendidos na lanchonete mostrada na foto.



Figura 6.6 - Exemplo de sistema de iluminação com efeitos especiais [24].

6.2.5 - ILUMINAÇÃO DE FUNDO

Nesse tipo de iluminação, o fluxo luminoso proveniente da fonte luminosa é orientado para iluminar um local com o objetivo de contribuir para uma sensação de maior profundidade do ambiente. No caso de locais fechados tais como escritórios, salas de aula, salões de conferência, etc, a distribuição das luminárias em linhas longitudinais contribuem para uma sensação de maior profundidade do local de trabalho como pode ser vista na Figura 6.7.



Figura 6.7 - Sistema de iluminação de fundo usando distribuição longitudinal das luminárias [23].

No caso de locais abertos como praias, bosques, jardins e parques, a distribuição dos postes que sustentaram as luminárias deve ser feita em linhas transversais, dando com isso uma maior sensação de profundidade lateral ao local, como podemos observar na Figura 6.8.

Ao ar livre a sensação de maior largura em um ambiente é muito mais confortável para as pessoas do que a sensação de maior comprimento segundo pesquisas feitas pelo instituto Gallup e registradas no manual prático de iluminação editado pela Osram [15].

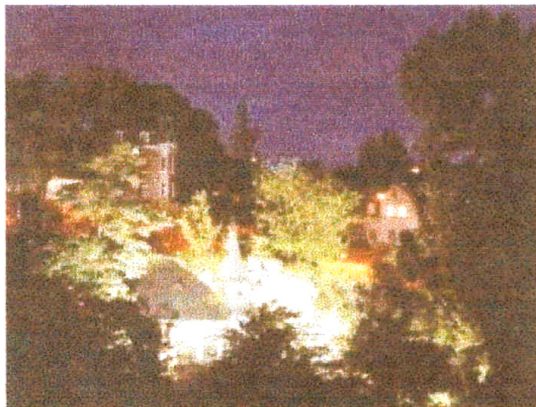


Figura 6.8 - Sistema de iluminação de fundo usando distribuição transversal das luminárias [21]

6.2.6 - ILUMINAÇÃO INDIRETA

Nesse sistema de iluminação, o fluxo luminoso emitido pela fonte luminosa só atingirá o plano de trabalho depois de refletido pelo teto ou paredes do ambiente. É o sistema que possui menor rendimento, mas que, em certas condições, poderá apresentar efeitos decorativos. Nesse caso, o teto e as paredes adjacentes deverão possuir alta refletância. O sistema de iluminação indireta tem por objetivo realçar determinados locais, paredes, cortinas, etc. Exemplos clássicos de iluminação indireta são as sancas, cornijas e sanefas que são mostradas na Figura 6.9.

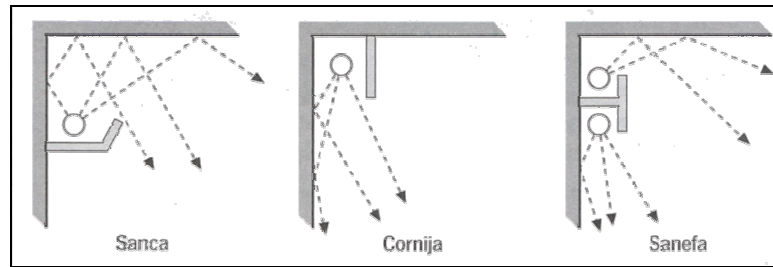


Figura 6.9 - Sistema de iluminação indireta usando sancas, sanefas e cornijas [12].

Outros exemplos de iluminação indireta são mostrados na Figura 6.10.



Figura 6.10 – Exemplo do uso do sistema de iluminação indireta [23].

6.3 – ITENS DE PROJETO POR SETOR DE APLICAÇÃO

6.3.1 – INTRODUÇÃO

O tipo de trabalho executado em diferentes tipos de interiores engloba uma grande variedade de tarefas visuais. As tarefas visuais poderão ser extremamente pequenas ou muito grandes, escuras ou claras, e poderão envolver formas planas ou tridimensionais. Para a finalidade de percepção visual, estas tarefas são classificadas de acordo com o tamanho do detalhe. Quanto menos crítica a tarefa, menores as exigências da iluminância e da qualidade da iluminação, enquanto que, quanto mais fino o trabalho, maior deverá ser a iluminância e a ausência de ofuscamento. O sistema de iluminação é principalmente determinado pela natureza do trabalho a ser executado, a forma do espaço a ser iluminado e o tipo estrutural do teto.

Neste capítulo descreveremos alguns aplicações de forma conceitual sem nos preocuparmos com os cálculos, com o intuito de melhor guiar na aplicação em projetos de iluminação.

6.3.2 – ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL

As várias atividades no setor industrial requerem uma iluminação de alta qualidade, projetada especificamente para o bom desempenho das tarefas.

A escolha correta dos produtos de iluminação, de acordo com as atividades e os locais onde elas serão executadas, pode proporcionar um sensível ganho de qualidade no processo produtivo e aumento do bem estar dos funcionários.

A qualidade dos sistemas de iluminação é fator determinante na eliminação de falhas nos processos produtivos e no bom desempenho visual dos funcionários.

Determinação dos Objetivos e Efeitos Desejados

Nessa etapa do projeto determinaremos os objetivos e efeitos desejados, quando se quer iluminar indústrias que possuem pequena altura em seus galpões. Normalmente as indústrias que operam nesse setor são fábricas de montagem eletrônica, indústrias que possuem departamentos de controle de qualidade, indústrias de micromecânica e outras do mesmo segmento. O projeto de iluminação deve fornecer boas condições de visão das peças fabricadas pela indústria e evitar sombras e reflexos quando o funcionário na linha de montagem olha diretamente para a peça, gerando com isso boas condições de trabalho ao funcionário e menos prejuízo às indústrias.

Levantamento das Características do Local

É necessário que o projetista saiba as dimensões e materiais usados na construção do local que será iluminado. Deverá ser feita uma medição rigorosa do comprimento, largura, pé direito e altura do plano de trabalho do local que será iluminado, assim como uma análise do material e cor usado na construção do teto, parede, piso e mobiliário do local (Figura 6.11).



Figura 6.11 – Levantamento do Local [23].

Análise da Tarefa a Ser Praticada Pelo Usuário

Nesse tipo de indústria algumas tarefas especiais são exigidas dos usuários. Tais como a inspeção de objetos pequenos, a montagem de partes mecânicas de pequenas dimensões, o controle de qualidade e o controle de dimensões de peças. Essas tarefas, por serem muito específicas e exigirem muita concentração e atenção dos funcionários, exigem que as

lâmpadas usadas possuam um índice de reprodução de cor alto (acima de 0,85) e uma tonalidade de cor da luz amarelada (5000K) com o objetivo de não cansar a vista do usuário. Outro fator muito importante a ser analisado nessa etapa seria o nível de iluminação necessário para realizar essa tarefa visual. Consultando-se a NBR 5413 podemos constatar que a iluminância média adequada para esse tipo de tarefa visual é de 500 lux (Figura 6.12).



Figura 6.12 – Análise da Tarefa [23].

Análise dos Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação

Na montagem do sistema de iluminação deve-se tomar muito cuidado com a posição das luminárias. Uma posição de montagem errada pode gerar reflexos e sombras na linha de montagem, prejudicando as boas condições de trabalho do usuário e gerando prejuízos por falha humana às indústrias. Para que isso seja evitado, as luminárias que serão utilizadas no projeto de iluminação deverão ser posicionadas paralelamente a seção do teto e lateralmente às bancadas das linhas de montagem fabris, onde os produtos serão montados, testados e passarão por um controle de qualidade.

Levantamento, Análise e Escolha dos Equipamentos Disponíveis no Mercado

Normalmente, nesse tipo de aplicação, a escolha de um sistema de iluminação com lâmpadas fluorescentes é preferido, por possuírem uma alta eficiência, por serem econômicas e uma vida longa. No mercado existem vários fabricantes como: OSRAM; PHILIPS, GE e SYLVANIA e outros, que disponibilizam de vários modelos dessas lâmpadas como podemos

ver no Capítulo 4. Essas lâmpadas podem ser encontradas nos seguintes modelos:

Lâmpada fluorescente 20W: Eficiência de 72%; Fluxo luminoso de 1060 lumens; R\$ 3,45

Lâmpada fluorescente 32W: Eficiência de 85%; Fluxo luminoso de 3050 lumens; R\$ 7,00

Lâmpada fluorescente 40W: Eficiência de 75%; Fluxo luminoso de 2700 lumens; R\$ 3,45

Lâmpada fluorescente 110W: Eficiência de 75%; Fluxo luminoso de 8300 lumens; R\$ 12,00

Analisando essas lâmpadas, podemos dizer que tanto a lâmpada fluorescente de 32W quanto à lâmpada fluorescente de 110W poderiam ser usadas no projeto por causa de sua grande eficiência e seu grande fluxo luminoso. No aspecto preço, uma lâmpada de 32W custaria R\$ 7,00 e uma lâmpada de 110W em torno de R\$12,00. Mesmo com um fluxo luminoso 3 vezes maior, a lâmpada de 110W não se encaixaria no projeto por causa de seu alto custo e baixa eficiência quando comparamos com uma lâmpada fluorescente de 32W. Nesse projeto então optaríamos por lâmpadas de 32W.

Para a escolha da luminária a ser utilizada devemos consultar o Capítulo 5. Nele encontraremos duas opções de luminárias:

Luminária TCS 029; Rendimento de 62%;

Luminária TBS 910; Rendimento de 64%;

Pelo fato da TBS 910 possuir um preço muito parecido com a TCS 029 e um rendimento maior, a luminária a ser escolhida será a TBS 910. Nesse projeto então usaríamos luminárias TBS 910 com lâmpadas fluorescentes de 32W.

6.3.3 – ILUMINAÇÃO COMERCIAL

A iluminação de uma loja influencia as vendas tanto quanto as promoções, a sinalização e os vendedores. Bem integrada à estratégia do lojista, a iluminação se torna uma poderosa e indispensável ferramenta de marketing, seja numa seção convidativa de padaria, em um supermercado ou numa elegante e exclusiva seção de roupa de noite em uma loja de departamento. Uma boa iluminação ajuda a mercadoria a atrair os olhares dos clientes.

Uma iluminação bem planejada pode guiar os clientes pela loja, para as exibições programadas e para os caixas. Mas, de que forma os lojistas vão descobrir qual o tipo de iluminação é a mais adequada para sua loja?

Os donos de lojas ou gerentes só poderão obter a resposta definitiva com o auxílio de um dos seguintes profissionais: consultor de iluminação, arquiteto, designer de interiores ou engenheiro de iluminação.

A iluminação de uma loja deve estar diretamente relacionada a sua arquitetura e a estratégia de vendas.

Sem a iluminação correta, a mercadoria não ganha atenção, desperta pouco interesse e simplesmente não vende. Com uma boa iluminação a mercadoria se torna mais desejável e vende com mais facilidade, sendo assim, a iluminação é um fator fundamental na comercialização. A iluminação também é uma arma indispensável como fator de diferenciação frente à concorrência.

Determinação dos Objetivos e Efeitos a Serem Alcançados com a Iluminação

Existem muitas maneiras de uma iluminação poder ajudar a vender um produto. Em muitos casos, alguns materiais são expostos em vitrines. O poder desta forma de chamar a atenção dos consumidores será aumentado, se for dada uma atenção especial a iluminação destas vitrines. O interior dessas lojas necessita de uma iluminação geral com a finalidade de orientação e esta iluminação é, geralmente, fortalecida por uma iluminação dirigida sobre as vitrines, com a finalidade de atrair os fregueses para a parte da loja onde se deseja mostrar e vender o produto. Porém, o objetivo da iluminação em uma vitrine é destacar as características dos materiais nela expostos (Figura 6.13).

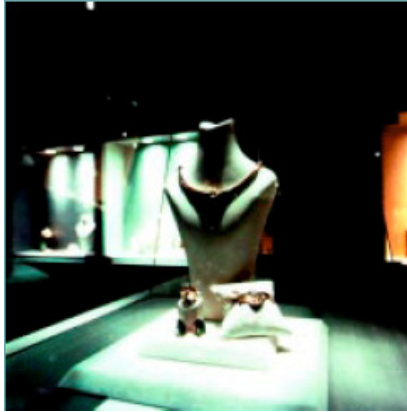


Figura 6.13 – Efeitos com a iluminação [23].

Levantamento das Características do Local

É necessário que o projetista saiba as dimensões e materiais usados na construção do local que será iluminado. Deverá ser feita uma medição rigorosa do comprimento, largura, pé direito e altura do plano de trabalho do local que será iluminado, assim como uma análise do material e cor usados na construção do teto, paredes, piso e mobiliário do local.

Análise dos Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação

Uma boa iluminação dirigida em uma vitrine de loja deve fornecer uma boa aparência da mercadoria ao freguês. No caso de joalherias e similares, os vitrinistas costumam dividir a área total da vitrine em pequenas áreas de 1,00 m² e arrumar as jóias dentro desses pequenos espaços. Sabendo disso, o projetista de iluminação deve trabalhar o seu projeto em torno dessas pequenas vitrines. Recomenda-se que o projeto de iluminação use um spot com uma lâmpada Par 38 de 150W de alto IRC, focalizado para o centro de cada uma dessas pequenas áreas, garantindo com isso a boa visualização do produto e criando uma idéia de que naquele espaço existe algo que vale a pena ser visto. Roupas e sapatos, no entanto, destacam-se melhor em uma iluminação de baixa temperatura, o que nos faz optar por uma luz fluorescente. A iluminação geral proveniente de um conjunto regular de luminárias e lâmpadas fluorescentes com um bom nível de reprodução de cores é aceitável sobre a área do piso do salão de vendas. Em tetos de grande altura, luminárias embutidas são mais apropriadas, com toda a luz voltada para baixo, gerando com isso um nível de iluminação maior no salão. O nível de iluminação recomendado para uma loja, em particular, depende especialmente da área e região na qual a loja está situada e até mesmo as condições climáticas

podem ter influência sobre o nível de iluminação de uma loja (Figura 6.14). Segundo análise feita na NBR 5413 e no Manual de Iluminação Osram [15], chegamos aos seguintes valores de níveis de iluminação recomendados para lojas:

Interior da Loja; Nível de Iluminação: 500 Lux

Vitrines; Nível de Iluminação: 1000 Lux



Figura 6.14 – Qualidade da iluminação [23]

Levantamento e Análise dos Equipamentos Disponíveis no Mercado

Iluminação Geral do Salão de Vendas

No projeto de iluminação geral do salão de vendas é preferível um sistema de iluminação com lâmpadas fluorescentes por possuírem uma alta eficiência, serem econômicas e possuírem uma vida longa. No mercado existem vários fabricantes como: OSRAM; GE PHILIPS e SYLVANIA, que disponibilizam vários modelos dessas lâmpadas como podemos ver no Capítulo 4. Essas lâmpadas podem ser encontradas nos seguintes modelos:

:

Lâmpada fluorescente 20W: Eficiência de 72%; Fluxo luminoso de 1060 lumens

Lâmpada fluorescente 32W: Eficiência de 85%; Fluxo luminoso de 3050 lumens

Lâmpada fluorescente 40W: Eficiência de 75%; Fluxo luminoso de 2700 lumens

Lâmpada fluorescente 110W: Eficiência de 75%; Fluxo luminoso de 8300 lumens

Analisando essas lâmpadas, podemos dizer que somente a lâmpada fluorescente de 110W seria melhor usada no projeto por causa de seu grande fluxo luminoso, sua longa vida e grande rentabilidade.

Para a escolha da luminária a ser utilizada devemos consultar o capítulo 5.

Luminária TCS 029 para duas lâmpadas; Rendimento: 62%

Luminária TCK 431 para duas lâmpadas; Rendimento: 86%

Luminária TCK 431 para uma lâmpada; Rendimento: 81 %

Pelo fato da TCK 431 possuir um rendimento maior, será a luminária escolhida nesse projeto. Então, usaremos luminárias TCK 431 com duas lâmpadas fluorescentes de 110W.

Iluminação das Vitrines

No caso de joalherias e similares, usam-se lâmpadas Par 38 com spots por causa de seu alto fluxo luminoso e alto IRC. Em sapatarias e boutiques, as roupas são iluminadas preferencialmente por lâmpadas fluorescentes de 32W, por se adaptarem melhor a esse tipo de lâmpada, que possui um alto fluxo luminoso e um alto IRC. Pelo fato da TBS 910 possuir refletores de alumínio de alto brilho, o que aumenta seu rendimento, e ser de embutir, o que deixa o ambiente esteticamente melhor, é a luminária indicada a ser usada em vitrines de boutiques e sapatarias (Figura 6.15).



Figura 6.15 – Iluminação de vitrine [23].

6.3.4 – ILUMINAÇÃO DE RESIDENCIAL

Numa residência, o projeto deve levar em conta especialmente o fator de decoração do ambiente. As soluções são, pois, essencialmente pessoais, dependendo do projetista, do proprietário ou dos habitantes.

Determinação dos Objetivos e Efeitos Desejados

Nessa etapa do projeto determinaremos os objetivos e efeitos desejados, quando se quer iluminar uma residência.

Nas salas de estar, nos dormitórios, nos corredores e nos quartos de banho, os níveis de iluminância não precisam ser elevados, devendo o projetista prender-se bastante à harmonia da iluminação com a arquitetura e a decoração. Já na iluminação de cozinhas, salas de estudo ou de costura é necessário que se preceda uma análise mais rigorosa, visto a natureza dos trabalhos que se realizam nesses locais.

Levantamento das Características do Local

É necessário que o projetista saiba as dimensões e materiais usados na construção do local que será iluminado. Deverá ser feita uma medição rigorosa do comprimento, largura, pé direito e altura do plano de trabalho do local que será iluminado, assim como uma análise do material e cor usado na construção do teto, parede, piso e mobiliário do local.

Análise da Tarefa a Ser Praticada pelo Usuário

Nas residências os níveis de luminâncias recomendadas para salas de estar, dormitórios, quartos de banho (geral) é de 150 lux. Já nos locais de trabalho mais duradouro pode variar de 250 a 500 lux e o mínimo recomendado para ambientes não destinados ao trabalho é de 100 lux.

Análise dos Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação

O tipo de luminária influencia diretamente o rendimento das lâmpadas, assim como os refletores das luminárias melhoram a iluminação, concentrando a luz na área desejada. Uma iluminação direta, ao mesmo tempo em que destaca mais os objetos, acentua sombras e irregularidades, enquanto a indireta é mais suave, não sendo adequada para locais com atividades que exijam acuidade visual.

A escolha adequada da iluminação para cada ambiente é fundamental. Como regra, pode-se afirmar que as lâmpadas fluorescentes são melhores para locais que ficam muito tempo iluminados, enquanto as incandescentes são mais adequadas para ambientes onde o acionamento das lâmpadas é constante. Segue abaixo uma orientação geral para ambientes residenciais:

- em lugares de passagem, tais como corredores, que não necessitam de muita claridade e onde as luzes ficam acesas por longos períodos, a lâmpada compacta fluorescente de baixa potência seria mais adequada e econômica;

- para iluminar uma sala de estar o primeiro passo é estabelecer uma iluminação geral para o ambiente. Nesse caso, podemos optar pela iluminação indireta, onde o fecho de luz é direcionado para o forro, o que proporciona uma iluminação geral suave (Figura 6.16) . Para isso, podem ser utilizados alguns modelos de arandelas, pendentês, luminárias de piso, além das sancas com luminárias embutidas.



Figura 6.16 – Iluminação de sala de estar [23].

Deve-se utilizar a iluminação localizada, onde se pode utilizar luminárias de mesa ou luminárias de piso que sejam flexíveis, ou seja, peças que possibilitem direcionamento sobre a tarefa a ser executada (leitura, trabalhos manuais, etc.), pois além de gerar maior conforto possibilitará maior economia de consumo energético. Pode-se também utilizar a iluminação dirigida, onde devem ser iluminados os objetos dispostos na sala, tais como quadros, estantes e obras de arte. Neste caso podem ser utilizados spots orientáveis, com lâmpadas mini spot ou dicróicas, de modo a iluminar a obra como um todo;

- a iluminação na cozinha centra-se numa luz geral que normalmente é fluorescente. No entanto, para as zonas de trabalho é conveniente termos distintos pontos de luz nos armários. Se na cozinha existe uma zona de refeições, optaremos por lâmpadas de teto que iluminem o centro da mesa e que evitem o encandeamento daqueles que comem. Estas luzes oferecem um carácter acolhedor, podendo-se ainda optar pelas incandescentes (com tons mais quentes);

- nos banheiros, iluminação deverá atender a, basicamente, duas situações: a iluminação geral do compartimento e a localizada, direcionada à utilização do espelho (barba e maquiagem). Na primeira situação tanto poderá ser utilizada a iluminação incandescente quanto a fluorescente (luz fria), na segunda situação a luz incandescente é a mais indicada para a maquiagem pois a luz fria (fluorescente) altera a cor natural dos produtos usados para esta finalidade. A luminária deve ser resistente à umidade;

- nos dormitórios, é preciso considerar quantas horas por dia as lâmpadas ficam acesas; se não forem muitas, as incandescentes podem ser utilizadas, caso contrário, as fluorescentes são mais adequadas, podendo também ser utilizadas fontes localizadas. Nos quartos de crianças deve haver mais luz, pois é o lugar onde elas normalmente brincam;

- escritórios e salas de estudo requerem iluminação potente e uniforme, para a qual as fluorescentes tubulares são mais adequadas. Deve-se evitar clarões e reflexos na superfície de trabalho, pois causam fadiga;

- em ambientes externos, onde geralmente as lâmpadas ficam acesas a noite toda, as lâmpadas fluorescentes são mais indicadas, podendo ainda ter sensores de luminosidade ou temporizadores, que desligam automaticamente a lâmpada ao clarear o dia, ou de movimento e minuterias, como os de prédios.

Levantamento, Análise e Escolha dos Equipamentos Disponíveis no Mercado

Na iluminação dos quartos, escritório ou sala de estudo, sala de estar e cozinha é preferível um sistema com lâmpadas fluorescentes por possuírem uma alta eficiência, serem econômicas e possuírem uma vida longa. No mercado existem vários fabricantes como: OSRAM; PHILIPS; GE e SYLVANIA, que disponibilizam de vários modelos dessas lâmpadas como podemos ver no Capítulo 4. Essas lâmpadas podem ser encontradas nos seguintes modelos

Lâmpada fluorescente 20W: Eficiência de 72%; Fluxo luminoso de 1060 lumens

Lâmpada fluorescente 32W: Eficiência de 85%; Fluxo luminoso de 3050 lumens

Lâmpada fluorescente 40W: Eficiência de 75%; Fluxo luminoso de 2700 lumens

Na iluminação dos corredores é preferível usar lâmpada compacta fluorescente de baixa potência, mais adequada e econômica. No mercado existem vários fabricantes como: OSRAM; PHILIPS; GE e SYLVANIA, que disponibilizam de vários modelos dessas lâmpadas como podemos ver no Capítulo 4. Essas lâmpadas podem ser encontradas nos seguintes modelos

Lâmpada fluorescente compacta 15W: Eficiência de 57%; Fluxo luminoso de 800 lumens

Lâmpada fluorescente compacta 20W: Eficiência de 61%; Fluxo luminoso de 1100 lumens

Na iluminação do banheiro é preferível usar lâmpada incandescente por ser mais adequada. No mercado existem vários fabricantes como: OSRAM; PHILIPS; GE e SYLVANIA, que disponibilizam de vários modelos dessas lâmpadas como podemos ver no Capítulo 4. Essas lâmpadas podem ser encontradas nos seguintes modelos:

Lâmpada incandescente 60W: Eficiência de 14%; Fluxo luminoso de 864 lumens

Lâmpada incandescente 100W: Eficiência de 16%; Fluxo luminoso de 1620 lumens

Para a escolha das luminárias a serem utilizadas devemos consultar o Capítulo 5.

Plafunier 110W

Luminária TCS 029; Rendimento de 62%;

Luminária TBS 910; Rendimento de 64%;

Pelo fato da TBS 910 possuir um preço muito parecido com a TCS 029 e um rendimento maior, a luminária a ser escolhida será a TBS 910. Nesse projeto então usaríamos luminárias TBS 910 com lâmpadas fluorescentes de 32W.

CAPÍTULO VII- CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo oferecer aos interessados no estudo em iluminação, um guia de apoio na iluminação de interiores, sem focar os modelos matemáticos usados nos cálculos luminotécnicos, mas com a proposta de reunir informações históricas do desenvolvimento da iluminação, conceitos e grandezas utilizados, levantamento de dados de aplicação, análise e escolha dos equipamentos disponíveis no mercado.

Num primeiro momento foi apresentado um breve histórico sobre o desenvolvimento da iluminação na humanidade, que teve o sol como a primeira fonte de luz e passou por uma busca de soluções por milhares de anos, vindo desde os tempos pré-históricos até os dias de hoje para atender às necessidades e anseios estéticos da humanidade.

Com o surgimento da iluminação elétrica, iniciado com a descoberta em 1650, por Otto Von Guericke, de que a luz podia ser produzida através da eletricidade, seguiram-se vários outros experimentos, até o primeiro sucesso de Thomas Edison com a lâmpada incandescente, em 1879. Os estudos continuaram e ao longo dos anos diversos outros tipos de lâmpadas foram inventadas, até chegarmos às lâmpadas que hoje são conhecidas por nós. Hoje os estudos avançam com o emprego de novos materiais e novas técnicas estão sendo implementadas com o objetivo do uso mais eficiente das formas de energia utilizadas na iluminação.

Foram apresentados nesse trabalho conceitos e grandezas abordadas pelas bibliografias normalmente usadas por estudantes e profissionais do ramo. O entendimento desses conceitos, bem como os fatores que influenciam na qualidade da iluminação em um projeto luminotécnico são necessários para o desenvolvimento de qualquer trabalho seja científico ou técnico profissional. Procurou-se organizá-los de forma que fosse estabelecida uma correlação direta e prática para o uso em projetos.

O estudo sobre fotometria foi introduzido com o intuito de enriquecer o trabalho, pois o assunto é pouco explorado pela disciplina de Técnicas de Iluminação e representa uma importante contribuição deste trabalho ao curso, destacando-se o funcionamento de alguns equipamentos usados na medição das grandezas luminosas. Novos trabalhos poderiam

desenvolver melhor este assunto visando montar um laboratório na UFRJ para o desenvolvimento dos estudos em iluminação.

Dos efeitos fotoelétricos mencionados, o efeito fotovoltaico, que é o mais utilizado para medição de iluminância, teve maior ênfase. Em particular o funcionamento de uma célula fotovoltaica típica fabricada de silício, que também são usadas em sistemas de captação de energia solar, fazendo uma estreita e inversa ligação da iluminação com a geração de energia.

No estudo sobre as lâmpadas, foram destacadas só as lâmpadas comumente utilizadas em iluminação interna, estabelecendo o principal foco deste trabalho e que se constituem nas principais fontes artificiais de luz no mundo moderno. Junto com as lâmpadas os aparelhos também têm a sua importância, pois contribuem diretamente para uma distribuição eficiente da luz no ambiente e o conforto visual das pessoas, complementando assim as técnicas de aplicação das fontes de luz.

O trabalho, de uma proposta simples, objetivou desenvolver os roteiros envolvendo o tipo de trabalho executado em diferentes tipos de interiores como: industrial, comercial e residencial. O método de cálculo a ser utilizado deverá ser o que melhor se enquadra para cada tipo de problema, até porque existem muitos softwares de uso pleno para esta finalidade. A análise aqui apresentada consiste de roteiros simples, porém objetivos e com todos os tópicos básicos na forma de um embrião de pesquisa para novos trabalhos. Recomenda-se um estudo mais aprofundado com a utilização do Lighting Handbook da IESNA.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. ABNT. NBR5413: Iluminação de Interiores. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- [2]. ABNT. NBR5503: Lâmpadas Elétricas Incandescentes. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- [3]. ABNT. NBR5382: Verificação da Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- [4]. ABNT. NBR598: Luminárias. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- [5]. ABNT. NBR5461: Terminologia de Iluminação. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- [6]. ABNT. NBR662: Lâmpada Vapor de Sódio a Alta Pressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- [7]. BOSSI, C..Instalações Elétricas. São Paulo: Hemes, 1995.
- [8]. COSTA, GILBRTO. J. C.. Iluminação Econômica, Cálculo e Avaliação. São Paulo: Edipucrs, 2000.
- [9]. FRIER, J. Industrial Lighting Systems. New York: Mc Graw Hill Co, 1980.
- [10]. GE. Manual Prático Luminotécnico. Rio de Janeiro: GE Lighting, 1997.
- [11]. INTERLIGHT. Guia Prático de Iluminação. São Paulo: Interlight, 2000.
- [12]. MOREIRA, VINICIUS. A. Iluminação Elétrica. São Paulo: Blucher, 1999.
- [13].OSRAM. Lâmpadas Fluorescentes Compactas, Informações Técnicas. São Paulo: Departamento de Iluminação OSRAM, 1997.
- [14]. LUMIÈRE, Revista. Artigo de Rinaldo Caldeira Pinto, (IEE/USP)
- [15]. OSRAM. Manual de Iluminação. São Paulo: Departamento de Iluminação OSRAM, 1988.
- [16]. PHILIPS. Catálogo Geral de Lâmpadas. São Paulo: Philips Lighting Division, 1999.
- [17]. PHILIPS. Catálogo Geral de Luminárias. São Paulo: Philips Lighting Division, 2000.
- [18]. PHILIPS. Manual de Iluminação. São Paulo: Philips Lighting Division, 1981.

- [19]. PHILIPS. Foodlighting Systems Manual. London: Philips Lighting Division, 1983.
- [20]. NISKIER, J. MACINTYRE., A.J. Instalações Elétricas, 4ª edição, editora LTC, Rio de Janeiro. 2000.
- [21]. Site da OSRAM, < www.osram.com.br >.
- [22]. MAMEDE FILHO,J.. Instalações Elétricas Industriais. 6ª edição, editora LTC, Rio de Janeiro, 2001
- [23]. Site da PHILIPS, < www.luz.philips.com >.
- [24]. Lighting Handbook da IESNA.
- [25]. Site da GE, <www.ge.com.br >.
- [26]. Site da FLC, <www.flc.com.br>.
- [27]. Site da USP, <www.elerotec.pea.usp.br>.
- [28]. Site da revista Luz & Cena, <www.musitec.com.br/luzecena>.