

AVALIAÇÃO DO DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)
PARA ILUMINAÇÃO DE INTERIORES.

Douglas Coelho Marteleto

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:

D.Eng. Jorge Luiz do Nascimento
(Orientador)

M.Sc. Ivan Herszterg

Ph.D. Sergio Sami Hazan

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
MARÇO DE 2011

*Dedico este trabalho aos meus Pais,
Paulo Roberto e Maria do Rosário,
pela educação, amor incondicional e
por serem meus maiores
incentivadores.*

Agradecimentos

Ao Professor Jorge Luiz do Nascimento, pela orientação e amizade. Por dedicar seu tempo de férias em função do meu aprendizado.

À Escola Politécnica da UFRJ e, em especial, aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica, pelo ensino de excelente qualidade e pelos conhecimentos transmitidos ao longo do curso de graduação.

A todos os meus amigos e colegas do curso de graduação, em especial Ivann Soares Behenck, João Marcelo R. Russo, Carla Sena, Felipe de Alverga F. Caseira, Pedro Henrique L. dos Santos, Johnny Regis Emerenciano e Daniel Krejci pelos estudos em conjunto, incentivo e conhecimentos compartilhados e pelos vários momentos de alegria e descontração.

Ao meu tio Engenheiro Eduardo de Melo Sanches, pelos ensinamentos e conversas produtivas, e minha tia Edna Marteleto Sanches por ter me convidado a morar com sua família durante a graduação, dando todo o apoio e estrutura que precisei para concluir esse trabalho.

A meus pais Paulo Roberto e Maria do Rosário e minha família, por todo esforço e compreensão dedicados a minha pessoa e a minha formação.

E, finalmente, a DEUS pela oportunidade e pelo privilégio que nos foram dados em compartilhar tamanha experiência, sempre ao meu lado, guiando-me e ajudando-me nesta caminhada.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica – UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

AVALIAÇÃO DO DIODO EMISSOR DE LUZ (LED) PARA ILUMINAÇÃO DE INTERIORES.

Douglas Coelho Marteleto

Março de 2011

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Neste trabalho é apresentada a tecnologia LED aplicada em iluminação de interiores. É explicado o que é o LED e quais são as suas características técnicas: qualitativas, elétrica e construtiva. É feita uma comparação com as tradicionais lâmpadas usadas em interiores como as incandescentes, as halógena e as fluorescentes compacta e tubular. São mostrados também alguns conceitos de técnica de iluminação no decorrer do texto. O trabalho chama a atenção para questões ambientais tais como as relacionadas à importância da eficiência energética e as relativas aos resíduos tóxicos.

Apresenta as perspectivas de mercado e o atual cenário para a tecnologia LED aplicada em iluminação de residências, comércio e indústrias.

O trabalho é concluído com alguns cálculos comparativos entre as lâmpadas em estudo na tentativa de quebrar paradigmas, impondo a superioridade da tecnologia LED tanto nos aspectos qualitativos como nos econômicos.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
	MOTIVAÇÃO.....	1
	OBJETIVO.....	2
	CONTEÚDO.....	3
2	HISTÓRIA DA LUZ	4
3	O QUE É O LED	8
	MATERIAL SEMICONDUTOR.....	8
	FUNDAMENTOS QUÍMICOS.....	9
	DIODO EMISSOR DE LUZ.....	10
	CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS.....	13
	FATOR DE POTÊNCIA.....	13
	CIRCUITOS PARA ACIONAMENTO DE LEDs.....	14
	DISSIPADORES.....	15
4	ENTRADA NO MERCADO	16
	SITUAÇÃO ATUAL.....	16
5	COMPARAÇÃO DE FONTE DE LUZ ARTIFICIAIS	20
	CARACTERÍSTICAS E ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....	20
	5.1.1 <i>Lâmpadas incandescentes</i>	20
	5.1.2 <i>Lâmpadas de descargas</i>	26
	5.1.3 <i>Lâmpadas de Estado Sólido</i>	29
	COMPARAÇÕES TÉCNICAS ENTRE AS LÂMPADAS.....	32
6	ILUMINAÇÃO DE INTERIORES	35
	ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL.....	40
	ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL.....	41
	ILUMINAÇÃO COMERCIAL.....	43
	INFORMAÇÕES DE EMBALAGENS.....	44
7	ESTUDO DE CASO: LED, INCANDESCENTE E FLUORESCENTE	49
8	PRÓS E CONTRAS DA TECNOLOGIA LED	61
9	CONCLUSÕES	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	APÊNDICE A	71
	CONCEITOS BÁSICOS.....	71
	<i>Fluxo luminoso</i>	71
	<i>Intensidade luminosa</i>	71
	<i>Vida Média</i>	72
	<i>Temperatura de Cor Correlata</i>	72
	<i>Iluminância</i>	73
	<i>Exitância Luminosa</i>	73
	<i>Eficiência Luminosa</i>	73
	<i>Fator de Potência</i>	73
	<i>Funcionamento da Lâmpada Fluorescente Tubular</i>	74
	APÊNDICE B	75
	MEMÓRIA DE CÁLCULO.....	75
	B1-LÂMPADA INCANDESCENTE DA EMPALUX VERSUS A LÂMPADA LED DA LEMNIS.....	77
	B2-LÂMPADA HALÓGENA DA AMERICAN GENERAL VERSUS A LÂMPADA LED DA LEMNIS.....	79

B3-LÂMPADA LED PAR 20 DA LEDMAX VERSUS A LÂMPADA HALÓGENA PAR 20 DA OSRAM	81
B4-LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA DA OSRAM VERSUS A LÂMPADA LED DA LEMNIS.....	83
B5-LÂMPADA FLUORESCENTE TUBULAR T8 DA VERSUS A LÂMPADA LED T8 DA AG	85

Lista de Figuras

Figura 1 - Lâmpada romana em terracota, à óleo vegetal. [2].....	4
Figura 2 - Lâmpada de arco voltaico, tipo arco fechado utilizada em São Paulo 1905 e 1920 – Museu da Energia [2].....	5
Figura 3 - Funcionamento interno de um LED. [4]	10
Figura 4 - Mistura aditiva de cor. (Autor)	12
Figura 5 - Diagrama com os componentes do <i>driver</i> . (autor).....	14
Figura 6 - Lei de Haitz: aumento da saída de luz do LED/redução do custo [1].	17
Figura 7 - Variadas modelos de lâmpada incandescente [10].....	21
Figura 8 - Variados modelos de lâmpada halógenas [10].....	22
Figura 9 - Temperatura de cor [12].....	23
Figura 10 - Os tristimulus de referência apresentam igual área entre as curvas e o eixo das abscissas [14].	25
Figura 11 - A curva de corpo negro define o espectro de temperaturas de espaço de cor [13].	26
Figura 12 - Lâmpada Fluorescente. (Autor)	27
Figura 13 - Modelos de Lâmpadas Fluorescentes Compactas [10].....	28
Figura 14 - Curva de Sensibilidade do olho a radiação monocromática [12].	30
Figura 15 - Tecnologia OLED [16].....	32
Figura 16 - Esquema do olho humano [18].	37
Figura 17 - Imagem de 1 cone e 9 bastonetes [18].....	38
Figura 18 - Diferença de reprodução de cor [6].	39
Figura 19 - Lâmpadas LED residenciais [12].....	41
Figura 20 - Lâmpadas LED Industriais	42
Figura 21 - Lâmpadas LED Comerciais.....	44
Figura 22 - Exemplo de ícone para resistência a ciclos on/off [20].	45
Figura 23 - Exemplo de ícone para tempo de aquecimento [20].	46
Figura 24 - Exemplo de ícone para regulação da intensidade de luz [20].....	46

Figura 25 - Superfície fotométrica [19].	47
Figura 26 - Curvas fotométricas horizontais e verticais [19].	48
Figura 27 - Iluminação noturna de parte do anel viário com LEDs, em primeiro plano, e com VSAP, ao fundo [21]......	50
Figura 28 - Lâmpada Incandescente da Empalux a esquerda versus a Lâmpada LED da Lemnis a direita	51
Figura 29 - Lâmpada Halógena da American General (AG) à esquerda versus a Lâmpada LED da Lemnis à direita.....	54
Figura 30 - Lâmpada LED PAR 20 da LEDMAX à esquerda versus a Lâmpada Halógena PAR 20 da OSRAM à direita.....	55
Figura 31 - Lâmpada Fluorescente Compacta da OSRAM à esquerda versus a Lâmpada LED da Lemnis a direita.....	57
Figura 32 - Lâmpada Fluorescente tubular T8 da AG à esquerda versus a Lâmpada LED T8 da AG à direita.....	58
Figura 33 - Mostra exemplo de plano de classificação de LEDs de luz branca de 2.700 K do fabricante [13]......	63
Figura 34 - Classificações com a maior proximidade possível da curva do corpo negro, de quatro estágios [13]......	63
Figura 35 - Intensidade Luminosa	72

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Etapas Evolutivas da Produção da Luz. Adaptado de [3]	5
Tabela 2 - Materiais semicondutores utilizados nos LEDs [4].	12
Tabela 3 - Classificação Quanto à temperatura de cor	25
Tabela 4 - Comparativo dos índices de reprodução de cores	33
Tabela 5 - Comparativo para eficiência luminosa.....	33
Tabela 6 - Comparativo para tempo de vida média.....	33
Tabela 7 - Comparativo para Temperatura de Cor - TCC	33
Tabela 8 - Iluminância por classe de tarefa visual [17].....	36
Tabela 9 - Fatores determinantes da iluminação adequada [17].	37
Tabela 10 - Índice mínimo de reprodução de cores [19].	40
Tabela 11 - Níveis de Iluminância recomendados para iluminação residencial [19].....	41
Tabela 12 - Dados relevantes para comparação de tecnologia [21].	49
Tabela 13 - Dados Técnicos das Lâmpadas.....	52
Tabela 14 - Valores quantitativo	53
Tabela 15 - Resultados Econômicos	53
Tabela 16 - Dados Técnicos das Lâmpadas.....	54
Tabela 17 - Valores quantitativos.....	55
Tabela 18 - Resultados Econômicos	55
Tabela 19 - Dados Técnicos das Lâmpadas.....	56
Tabela 20 - Valores quantitativos.....	56
Tabela 21 - Resultados Econômicos	56
Tabela 22 - Dados Técnicos das Lâmpadas.....	57
Tabela 23 - Valores quantitativos.....	57
Tabela 24 - Resultados Econômicos	58
Tabela 25 - Dados Técnicos das Lâmpadas.....	59
Tabela 26 - Valores quantitativos.....	59
Tabela 27 - Resultados Econômicos	59
Tabela 28 - Dados técnicos das lâmpadas incandescente e LED Pharox 200 flame.	77

Tabela 29 - Dados técnicos das lâmpadas halógena e LED PharoX 200 flame	79
Tabela 30 - Dados técnicos das lâmpadas halógena PAR 20 e LED PAR 20.....	81
Tabela 31 - Dados técnicos das lâmpadas fluorescente compacta e LED PharoX 300.....	83
Tabela 32 - Dados técnicos das lâmpadas fluorescente tubular T8 e LED tubular T8.....	85

1 Introdução

Em 1998 os LEDs eram apenas uma promessa como tantas outras que surgiram com o passar do tempo no mercado de iluminação. Nesta época pouco se sabia a respeito e pouco se falava deste tipo de iluminação. Atualmente a realidade é diferente. O LED é a “luz do presente”. A sua tecnologia desenvolveu-se rapidamente nestes 13 anos e vários fabricantes já oferecem aos clientes opções de iluminação com LED para todas as aplicações usuais, seja na área residencial, comercial, entretenimento, iluminação pública e de monumentos.

Motivação

A grande motivação para abordar o assunto “LED - Iluminação de Interiores” baseia-se nos seguintes fatos: a preocupação com a sustentabilidade, a eficiência energética, as questões ambientais, os custos crescentes da produção de energia e a necessidade de prover demandas cada vez maiores, as quais estão cada vez mais difíceis de serem resolvidas.

Enquanto a eficiência da tecnologia LED para iluminação vem aumentando cada vez mais, o seu custo vem caindo devido a novas descobertas [1]. Essa tecnologia é uma alternativa de substituição de lâmpadas com baixa eficiência e deve ser estudada e analisada continuamente. Estudos comprovam que seu uso para iluminação pública já é válido na maioria dos casos em que se deseja ter uma boa iluminação pública, mas para iluminação de interiores ainda não se tem uma boa definição.

A Iluminação de interiores com a utilização da tecnologia LED ainda é uma incógnita. Seu custo é elevado e esbarra em economias pequenas, como casas, comércio e pequenas empresas. Atualmente não se tem estudo que avalie sua viabilidade econômica em interiores

comparada a outras tecnologias. Por isso o tema “Aplicação do Diodo Emissor de Luz (LED) para Iluminação de Interiores” foi escolhido para a realização deste trabalho, pela importância na difusão desse novo conhecimento para sociedade.

Objetivo

Há alguns anos, falar da tecnologia LED para iluminação era inviável. Atualmente, embora ela esteja em alta, pouco se sabe sobre o seu potencial e suas utilidades. Por isso este trabalho tem como objetivo elaborar uma pesquisa sobre o LED aplicado na iluminação de interiores e apresentá-la em forma de curso apontando conceitos básicos e critérios técnicos de iluminação.

A história do LED, características construtivas, prós e contras da tecnologia, as perspectivas de popularização, novas tecnologias LED, o mercado atual, comparando qualidade, custo e eficiência com outras fontes de iluminação, serão assuntos abordados no curso.

Após o curso, o estudante deverá estar apto a identificar a viabilidade da implementação do LED para variadas aplicações, seja na área residencial, comercial ou industrial.

Conteúdo

Este trabalho apresenta-se dividido em 10 capítulos

No Capítulo 1 são descritos um pouco do atual cenário da tecnologia LED e a motivação e objetivos para realização deste trabalho.

No Capítulo 2 será mencionada um pouco da história da luz e sua evolução, além de alguns dos desafios tecnológicos enfrentados e vencidos por diversas fontes de iluminação.

No Capítulo 3 são apresentados o princípio de funcionamento do diodo emissor de luz e suas características físicas, construtivas e elétricas.

No Capítulo 4 são abordados assuntos do atual mercado para o LED no uso de interiores, tanto os planos futuros das empresas em busca desse novo mercado como também a mudança de paradigmas para os consumidores.

No Capítulo 5 serão abordadas as comparações das lâmpadas usadas em iluminação de interiores.

No Capítulo 6 serão mostradas técnicas para o projetista aplicar na iluminação artificial de locais fechados, tais como galpões industriais, lojas, residências, escritórios, oficinas, auditórios, salas de aula e etc.

No Capítulo 7 serão mostrados cálculos comparativos entre as lâmpadas tradicionais (lâmpadas incandescentes, halógenas e fluorescentes compactas e tubulares), confrontando-as economicamente com as lâmpadas LEDs encontradas hoje no mercado.

No Capítulo 8 será descrito os prós e contras da tecnologia LED.

Por fim, no Capítulo 9, serão apresentadas as conclusões do trabalho.

2 História da Luz

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. O fogo foi o primeiro recurso a vencer a escuridão noturna e fornecer claridade à ambientes em que a luz não podia entrar. A produção da luz passa historicamente por quatro fases. A primeira é o domínio do fogo, que vai até 1878 quando a evolução destas fontes ainda estava restrita ao processo de queima de materiais como madeiras, óleo animal e vegetal, gás e querosene.



Figura 1 - Lâmpada romana em terracota, à óleo vegetal. [2]

Thomas Edson, em 1879, quando apresentou sua lâmpada incandescente de fins práticos, contribuiu universalmente para o desenvolvimento tecnológico e científico. Desde então surgiram diversos tipos de lâmpada que, com o tempo, tiveram melhorias na eficiência, no tempo de vida e a tecnologia bastante melhorada.

Na Figura 2, pode-se observar como é uma lâmpada de arco voltaico, utilizada em São Paulo, em 1905, já na fase do domínio da eletricidade.



Figura 2 - Lâmpada de arco voltaico, tipo arco fechado utilizada em São Paulo 1905 e 1920 – Museu da Energia [2]

Na Tabela 1, podem ser observadas as etapas evolutivas das fontes de luz e seus desafios.

Tabela 1 - Etapas Evolutivas da Produção da Luz. Adaptado de [3]

ANO	FONTE LUMINOSA	DESAFIO TECNOLÓGICO
DOMÍNIO DO FOGO		
?	Descoberta do fogo	Como iniciar?
500000 a.C.	Fogueira	Como controlar?
200000 a.C.	Tocha	Como manter?
20000 a.C.	Lâmpada a óleo animal	Como facilitar transporte?
Século I	Vela de cera	Como ter em quantidade?
1780	Vela de Espermacete	Como popularizar?
1784	Lâmpada Argand	Como usar em via pública?
1803	Lâmpada a gás de carvão?	Como aumentar Intensidade?

DOMÍNIO DA ELETRICIDADE

1808	Arco voltaico	Como manter constante o arco?
1830	Vela parafínica	-----fim-----
1847	Lâmpião de óleo parafínico	Como aumentar a luz?
1878	Lâmpião de óleo incandescente de carvão	Como aumentar a vida útil?
1880	Arco voltaico controlado	Como aumentar a segurança?
1887	Lâmpião com camisa	-----fim-----
1893	Arco voltaico encapsulado	-----fim-----
1901	Lâmpada a vapor baixa pressão	Como alimentar em CA?
1902	Lâmpada incandescente de ósmio	Como baratear o filamento?
1906	Lâmpada incandescente Tântonlo	Como evitar a quebra do filamento?
1907	Lâmpada incandescente tungstênio	Como aumentar o filamento?
1908	Lâmpada vapor de mercúrio alta pressão	Como evitar a alta radiação UV?
1912	Lâmpada incandescente tungstênio espiral	Como aumentar a eficiência?
1931	Lâmpada vapor de sódio baixa pressão	Como alimentar em CA?
1932	Lâmpada fluorescente	Como melhorar a reprodução de cor?
1933	Lâmpada incandescente espiral dupla	Como aumentar mais a eficiência?
1933	Lâmpada vapor de sódio baixa pressão	Como melhorar a reprodução de cor?
1934	Lâmpada incandescente espiral tripla	Como economizar energia?
1935	Lâmpada vapor de mercúrio alta pressão	Como melhorar a reprodução de cor?
1941	Lâmpada de luz mista	Como montar em qualquer posição?
1955	Lâmpada vapor de sódio alta pressão	Como sintetizar o alumínio?
1959	Lâmpada incandescente halógena	Como direcionar o calor da irradiado?
1962	Comercialização do Led para sinalização	Como melhorar sua eficiência?
1964	Lâmpada vapor a iodetos metálicos	Como acender rapidamente?
1965	Lâmpada vapor de sódio alta pressão	Como melhorar a reprodução de cor?

CHOQUE DO PETRÓLEO

1973	Lâmpada florescente de pós-emissivos	Como melhorar sua eficácia?
1980	Lâmpada florescente compacta	Como aumentar o desempenho?
1987	Lâmpada incandescente econômica	Como conscientizar o usuário?
1988	Sistemas integrados	Como popularizar?
1990	Led's variadas cores	Como produzir luz branca?
1991	Lâmpada de indução	Como tornar competitiva?
1992	Lâmpada fluorescente eletrônica compacta	Como reduzir custos para vender em massa?
1994	Lâmpada de enxofre	Como criar variedade de potências par uso?
1995	Lâmpadas leds	Como aumentar o fluxo luminoso?
1996	Lâmpada fluorescente de 16 mm diâmetro	Como adaptar aos sistemas existentes?
1998	Lâmpadas Leds	Como tornar mais barato?
2005	Lâmpadas Leds	Como aumentar a potência com eficiência?

Cada uma das fases enfrentou seus desafios da época. Alguns dos desafios foram vencidos e outros não. Atualmente, a fase de desafios dos tecnólogos e cientistas está mais voltada para a nanotecnologia e biotecnologia e estes pesquisadores estão em constante busca por vencer os desafios. A questão que fica é: será que novas lâmpadas surgirão?

3 O que é o LED

Durante anos os semicondutores foram usados em eletrônica para acionamento e sinalização de equipamentos elétricos. Atualmente eles ainda continuam sendo utilizados para este fim. O desenvolvimento desta tecnologia expandiu suas aplicações e tornaram-se fontes luminosas capazes de substituir as lâmpadas em várias aplicações. Por serem pequenos e eficientes, a iluminação semicondutora atraiu empresas e pesquisadores que conseguiram desenvolver produtos empregando esta tecnologia, tornando possível sua utilização em várias áreas como iluminação de pequenos espaços, iluminação decorativa, iluminação de jardins e fachadas etc.

Material Semicondutor

A própria palavra sugere seu significado. O prefixo *semi-* indica *limite* ou *quase alguma coisa*. O termo *condutor* é aplicado a qualquer material, que ao ter aplicado em seus terminais uma fonte de tensão limitada, esse passa a sustentar um fluxo de carga. Um isolante é o oposto, o material apresenta baixa condutividade.

Semicondutor é, portanto, o material que possui um nível de condutividade entre os extremos de um isolante e um condutor.

Fundamentos Químicos

A luz é um espectro eletromagnético, portanto um efeito oscilatório, de velocidade de propagação constante, no qual as ondas se diferem entre si por sua frequência (ou comprimento de onda).

Para estudo de iluminação, os valores importantes de comprimento de onda são os compreendidos entre 380 e 760 nm, pois são esses comprimentos percebidos pelo olho humano, conhecidos também como luz visível.

Os fótons são as unidades básicas da luz. Os fótons, no LED, são liberados como resultado do movimento de elétrons.

Em um átomo, os elétrons se movem em órbitas ao redor do núcleo. Elétrons em órbitas diferentes têm quantidades diferentes de energia. De maneira geral, os elétrons com mais energia se movem em órbitas mais distantes dos núcleos.

Para um elétron pular de uma órbita mais baixa para uma órbita mais alta, algo deve aumentar seu nível de energia. Inversamente, um elétron libera energia quando cai de uma órbita mais alta para uma mais baixa. Essa energia é liberada na forma de um fóton. Uma grande queda de energia libera um fóton de alta energia, que é caracterizado por uma alta frequência.

Visto isso, a produção de luz dependerá do material semicondutor da construção dos LEDs. Em materiais como Silício e Germânio, que são utilizados em componentes eletrônicos como diodo e transistores, os fótons emitidos são insignificantes. Na junção de outros materiais semicondutores, como veremos no item 3.3, o número de fótons é suficiente para construir fontes de luz bem eficientes, daí que surge o diodo emissor de luz.

Diodo Emissor de Luz

Os diodos emissores de luz - dispositivos conhecidos pela abreviatura em língua inglesa LED (Light Emitting Diode) - são fontes luminosas para iluminação artificial. Os LEDs são compostos de camadas diferentes de semicondutores em estado sólido, que convertem energia elétrica diretamente em luz monocromática, opostamente a uma lâmpada incandescente, que emana um espectro contínuo de luz.

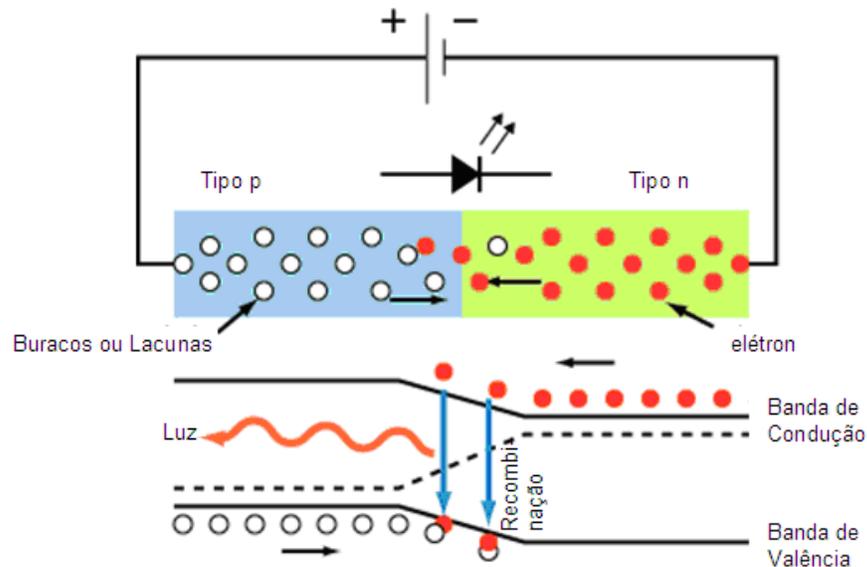


Figura 3 - Funcionamento interno de um LED. [4]

Se a tensão aplicada entre anodo e catodo do semicondutor for de valor adequado aos elétrons do material do tipo n e às lacunas do material do tipo p , ambos se deslocam em direção a junção $p-n$, como na Figura 3. Esta recombinação exige que a energia do elétron livre não ligado seja transferida para outro estado inferior. Essa energia é emitida na forma de fótons. Em materiais como arsenieto de gálio (GaAsP) ou fosfeto de gálio (GaP), o número de fótons da energia luminosa é suficiente para criar uma fonte de luz bem visível. Esse processo de emissão de luz com aplicação de uma fonte elétrica é chamado de eletroluminescência. O comprimento de onda da radiação emitida depende da banda de energia entre dois níveis

consecutivos do material semicondutor. Cada material terá seu próprio nível de energia na sua estrutura atômica. Quanto maior a distância do elétron ao núcleo, maior é o nível de energia e maior a frequência [5].

Deste modo, a radiação emitida pelos LEDs pode ir desde ultravioleta até infravermelha. A dopagem do cristal pode ser feita com gálio, alumínio, arsênio, zinco, fósforo, índio e nitrogênio.

A geração de luz branca com LED é feito por mistura de cores - geralmente através da mistura de azul e amarelo claro. A luz azul é gerado pelo chip LED, a luz amarela, por meio de um conversor fosfórico que absorve parte da luz azul e converte em luz amarela. O conversor fosfórico é colocado ao redor do chip do diodo emissor de luz, ou seja diretamente aplicada ao chip LED. O conversor aplicado diretamente no chip LED melhora a qualidade da luz branca, ela garante que a luz azul é convertido igualmente através da fina camada de fósforo.

Antes da descoberta do LED branco usando fósforo, era muito usado superpor cores para se ter o branco, este método é menos eficiente e não tem muita precisão do que a conversão por fósforo. Era usado o vermelho e o verde junto do chip LED azul, misturando a luz de cada um deles por superposição, juntos eles geravam o branco.

No processo de superposição de cores, ocorre o somatório dos comprimentos de ondas, razão pela qual se denomina de mistura aditiva. É possível, desta forma, se obter todas as cores do espectro partindo-se das chamadas cores fundamentais: vermelho, azul e verde, muito usado para efeitos decorativos. A mistura aditiva sempre produz uma cor mais clara. Este processo de superposição de luzes é o que se utiliza nos tubos de imagem de televisores coloridos, sendo que o branco resulta da soma das três cores fundamentais e o preto corresponde à ausência de luz.

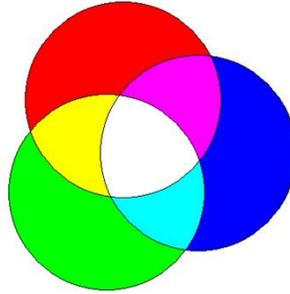


Figura 4 - Mistura aditiva de cor. (Autor)

A Tabela 2 refere-se a alguns dos materiais utilizados para a fabricação de LEDs emitindo diferentes tipos de radiação (cor).

Tabela 2 - Materiais semicondutores utilizados nos LEDs [4].

TIPO DE RADIAÇÃO	TENSÃO	MATERIAL SEMICONDUTOR
Ultravioleta ($\lambda < 400$)	$3.1 < \Delta V < 4.4$	Diamante (235 nm) Nitreto de boro (215 nm) Nitreto de alumínio (210 nm) Nitreto de alumínio, gálio e índio (210 nm)
Violeta ($400 < \lambda < 450$)	$2.76 < \Delta V < 4.0$	Nitreto de gálio e índio
Azul ($450 < \lambda < 500$)	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Seleneto de zinco Nitreto de gálio e índio
Verde ($500 < \lambda < 570$)	$1.9 < \Delta V < 4.0$	Fosforeto de gálio (III) Fosforeto de alumínio, gálio e índio Fosforeto de alumínio e gálio Nitreto de gálio e índio / Nitreto de gálio (III)
Amarelo ($570 < \lambda < 590$)	$2.10 < \Delta V < 2.18$	Fosforeto de alumínio, gálio e índio Fosforeto de gálio (III)
Laranja ($590 < \lambda < 610$)	$2.03 < \Delta V < 2.10$	Fosforeto de gálio (III) Arseneto de alumínio e gálio
Vermelho ($610 < \lambda < 760$)	$1.63 < \Delta V < 2.03$	Fosforeto de alumínio, gálio e índio Fosforeto de gálio (III)
Infravermelho ($\lambda > 760$)	$1.9 < \Delta V$	Arseneto de gálio Arseneto de alumínio e gálio

Características Elétricas

Uma característica importante é a alimentação do LED, que utiliza baixa alimentação de condução, entre 1,9 V e 4 V para LED de alto brilho, para LED de alta potência varia de 5 V a 12 V e opera em corrente contínua, portanto não pode ser ligada diretamente a rede elétrica fornecida pela concessionária. Faz-se então o uso de circuitos auxiliares para adequar esses sinais de tensão e ao LED.

A intensidade luminosa do dispositivo é proporcional a sua corrente. Portanto, a intensidade luminosa pode ser controlada através de controle de corrente. Esse circuito de controle é conhecido como *drive*.

Fator de Potência

As lâmpadas incandescentes por serem puramente resistivas possuem fator de potência 1,0. O fator de potência (FP) das lâmpadas de LED depende muito da fonte usada para fornecer tensão. Abrange um fator de potência de 0,5 a 0,99, podendo-se dizer que a grande maioria possui FP acima de 0,75. Já a lâmpada fluorescente compactas possui um FP de 0,55.

No Brasil, para residências não existe um limite para o fator de potência, mas para empresas o menor fator de potência permitido é 0,92; para valores menores a concessionária cobra uma tributação adicional.

Circuitos para Acionamento de LEDs

As lâmpadas LED atualmente no mercado, já funcionam com tensão da rede elétrica fornecida pela concessionária com sinais alternados bivolt, 127 V ou 220 V. Existem circuitos específicos para seu correto funcionamento conhecidos como *driver*.

Os *drivers* são impressos em placa e colocados no soquete das lâmpadas LEDs. Esses drivers são circuitos eletrônicos, que possuem um transformador, um retificador e pode haver conversores *Buck*, *Bock-Boost* e etc. A escolha do conversor dependerá do arranjo dos LEDs e as tensões e corrente de controle dos mesmos para se extrair o maior aproveitamento da luz e durabilidade das lâmpadas.



Figura 5 - Diagrama com os componentes do *driver*. (autor)

Um bom driver deve tentar atender às seguintes especificações:

- Converter a corrente alternada em corrente contínua;
- Transformar a tensão da rede (127/220 Vca) em um nível adequado de operação;
- Filtrar os "ruídos", reduzindo a ondulação na tensão retificada;
- Ter isolamento entre o circuito de saída em corrente contínua, da entrada de rede elétrica em corrente alternada;
- Ser dotada de circuito de proteção contra eventuais curto-circuitos na saída;
- Ter a tensão de saída regulada e estabilizada, independentemente da variação da tensão de entrada (90 a 240 Vca);
- No caso de alimentação de múltiplos LEDs, prover a variação proporcional da tensão, mantendo a corrente do circuito série constante.

Dissipadores

O que vimos no capítulo anterior é que a luz emitida pelo LED não irradia calor, mas seu chip sim, e este calor precisa ser retirado eficientemente do LED, pois a temperatura neste caso é o vilão e encurta sua vida média.

Para garantir que os LEDs trabalhem dentro da temperatura de junção admitida por cada fabricante é necessário utilizar dissipadores de calor para reduzir sua temperatura de operação. A eficiência de um dissipador depende basicamente do material utilizado (geralmente alumínio) e da área em contato com o ar. Quanto maior a área, maior a dissipação térmica.

4 Entrada no Mercado

Situação atual

Philips, Lemnis, GE, Osram e Sylvania anunciaram no ano passado, 2010, o lançamento de lâmpadas LED para iluminação residencial, em substituição às lâmpadas de tungstênio e fluorescentes, proporcionando maior iluminação com menor consumo de energia elétrica.

A GE, a Phillips e a Sylvania fecharam suas fábricas de lâmpadas incandescentes no Brasil. Só sobrou a Osram. Desde o apagão energético, ocorrido no final dos anos 1990, as tradicionais lâmpadas incandescentes perderam mercado devido ao seu alto consumo de energia [7].

A GE Iluminação decidiu construir uma fábrica de lâmpadas LED no Brasil. A informação foi dada em agosto de 2010 pelo presidente da companhia para América Latina. O início da construção da fábrica deverá ocorrer num prazo inferior a um ano. Hoje a multinacional de origem americana produz lâmpadas LED nos Estados Unidos e México. “Certo é que tomamos a decisão estratégica de produzir no Brasil, que tem um mercado interno potencialmente importante. O país ainda será nossa plataforma de exportação para o Cone Sul”, afirma o executivo Lionel Ramires [7].

As indústrias de iluminação atravessam globalmente uma fase de transição às fluorescentes, sendo comercializadas como substitutas “oficiais” das velhas lâmpadas de Edison, mas ainda encontram bastante resistência dos consumidores. As Halógenas, também conhecidas como “dicróicas”, também não encontraram grande adesão dos consumidores domésticos. Por isso, a tecnologia a LED pode estar entrando no mercado no momento certo.

Entretanto, o principal obstáculo a ser vencido ainda é o custo das novas lâmpadas. A Lemnis disponibilizará o produto para o mercado norte-americano com valores iniciais de US\$ 30 e pode chegar a US\$ 10 em cinco anos. Já no Brasil, a GE lançará em abril de 2011 um novo tipo de lâmpada pelo sistema LED. A expectativa é que esse produto comece a ser vendido por R\$ 90 a R\$ 100 a unidade. Essa lâmpada, que será lançada para substituir a incandescente comum de 40 watts, consome apenas 9 W, e representa uma economia de 77%, com durabilidade de até 17 anos, dependendo das condições de uso. A tecnologia LED segue a Lei de Haitz (ver Figura 6), isto é, que o custo de cada *lumen* produzido cai a um fator de 10 a cada década, enquanto a quantidade de luz produzida por cada lâmpada aumenta a um fator de 20. Por essa razão, espera-se que em pouco tempo o custo por lumen – e, portanto, o custo de comprar e usar uma lâmpada a LED – torne-se baixo o suficiente para que o consumidor substitua completamente as lâmpadas incandescentes [8].

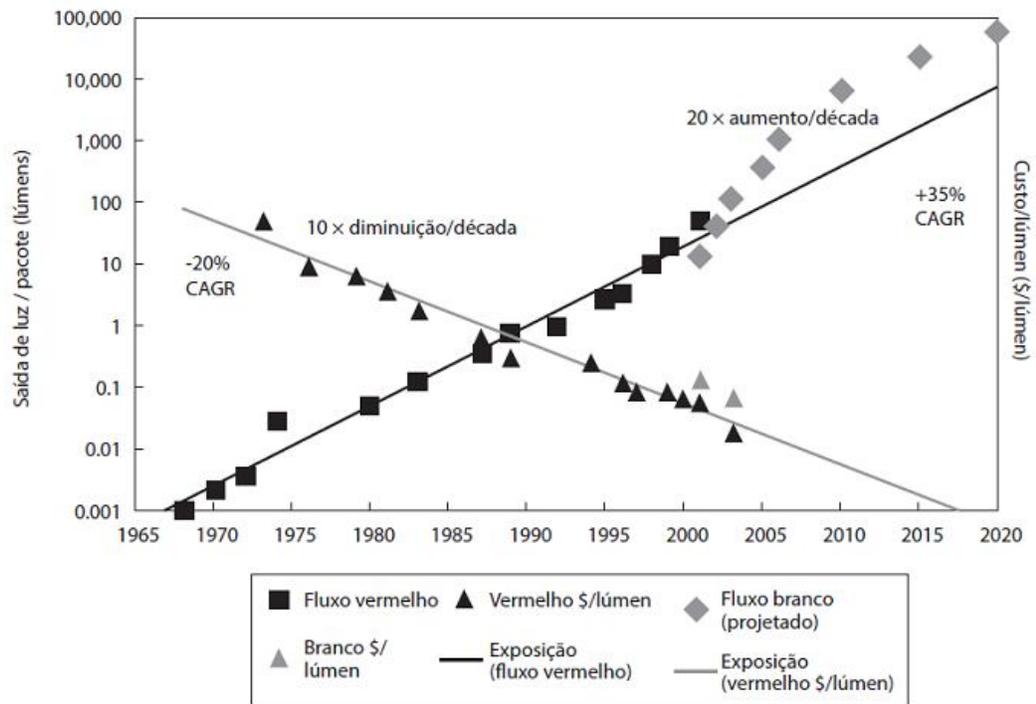


Figura 6 - Lei de Haitz: aumento da saída de luz do LED/redução do custo [1].

O que Roland Haitz fez foi coletar amostras em diferentes períodos para o fluxo do LED e do custo por lúmen do LED. No gráfico acima os triângulos e quadrados escuros são referentes à tecnologia LED quando era de fluxo vermelho e os triângulos e losangos claros são referentes à tecnologia LED quando já conseguia produzir o LED de cor branca. O resultado de Haitz são duas retas, uma crescente (fluxo) e outra decrescente (custo/lúmen), daí, ele conclui que o custo de cada *lumen* produzido cai a um fator de 10 a cada década, enquanto a quantidade de luz produzida por cada lâmpada aumenta a um fator de 20.

O Departamento de Água e Luz de Los Angeles (LADWP) patrocinou recentemente um estudo do LRC para determinar se o uso de LEDs em vitrines de lojas atrairia o interesse dos consumidores e reduziria o consumo de energia, sem reduzir as vendas. Os pesquisadores do laboratório instalaram luminárias de LED em três lojas de uma rede de roupas populares em shopping de Los Angeles. Para o teste, as lâmpadas fluorescentes foram removidas e foi reduzido o número e a potência dos spots com lâmpadas halógenas. Foram criados painéis de LEDs coloridos ao redor e acima das mercadorias para criar pontos de interesse. Os pesquisadores testaram vários designs de iluminação em um período de oito semanas, e entrevistaram os fregueses a respeito das características da iluminação, como visibilidade e atração para o olhar. De acordo com a pesquisa do Lighting Research Center, 74% dos compradores acharam a nova iluminação atraente, 84% consideraram a iluminação com LEDs visualmente interessante e 91% dos entrevistados disseram que a troca dos spots por LEDs não prejudicou a visibilidades das roupas nos manequins.

Depois de 8 semanas e 700 entrevistas, os resultados indicaram que a iluminação com LED coloridos foi um sucesso entre os consumidores. Segundo Dan Frering, a iluminação foi desenhada para criar impacto e contraste com cores e não alta intensidade luminosa. Os consumidores aprovaram o sistema que usava 30% menos energia elétrica que o sistema comum.

Em Eschenbach, na Suíça, o supermercado Migros é o primeiro estabelecimento comercial a migrar para a iluminação feita totalmente com LED. O projeto trocou todas as lâmpadas da loja por LEDs coloridos de alto brilho, incluindo dentro das geladeiras, acima dos corredores e spots para destacar ofertas e mercadorias especiais. O Migros espera que seu consumo de energia caia até 80%, incluindo a redução do consumo do ar-condicionado. Segundo a rede, a opção é ecológica, além de econômica. Há ainda outra vantagem: a luz emitida pelos LEDs não emite raios ultravioleta ou infravermelho, reduzindo o dano sobre os alimentos expostos [9].

5 Comparação de Fonte de Luz Artificiais

Basicamente temos três tipos de lâmpadas: as incandescentes, as de descargas e as de estado sólido.

Características e Aspectos Construtivos

5.1.1 Lâmpadas incandescentes

Thomas Edson, em 1879, quando apresentou sua lâmpada incandescente de fins práticos, contribuiu universalmente para o desenvolvimento tecnológico. Tempos depois venceu desafios de como melhorar eficiência, tempo de vida e conseguiu baratear popularizando a lâmpada incandescente para uso residencial.

Incandescentes Comuns

As lâmpadas incandescentes são usadas em locais em que se deseja luz dirigida, portátil e com flexibilidade de escolha de diversos ângulos de abertura de fecho luminoso. Em residências são utilizadas na iluminação geral de ambientes ou para efeitos especiais. Em lojas, são indicadas para o destaque de mercadorias e para iluminação geral. Pode-se utilizá-las em locais com problemas de vibração e também para a secagem.

A lâmpada incandescente funciona através da passagem da corrente elétrica pelo filamento de tungstênio que, com o aquecimento, gera luz. Sua oxidação é evitada pelo vácuo ou pela presença de gás inerte dentro do bulbo onde está o filamento.

O filamento da lâmpada incandescente é feito de fio de tungstênio devido à grande resistência física e ao alto ponto de fusão deste metal. Quanto maior a temperatura do filamento, maior a eficiência da lâmpada. O comprimento, o diâmetro e a espiralagem do fio

de tungstênio são determinados conforme o uso a que se destina a lâmpada e as necessidades de potência e vida útil, tendo por objetivo produzir luz da maneira mais econômica e eficiente possível. Na Figura 7 podemos observar a diversidade de lâmpadas incandescentes.



Figura 7 - Variadas modelos de lâmpada incandescente [10]

As lâmpadas de potência inferior a 40 W são geralmente do tipo a vácuo, o que evita que o filamento se combine com o oxigênio e sublime instantaneamente. Nas lâmpadas de maiores potências, o preenchimento é feito com uma mistura dos gases argônio e nitrogênio. Estes gases são inertes e não se combinam quimicamente com o tungstênio, reduzindo a degradação do filamento e aumentando sua eficiência [11].

O bulbo é feito de vidro que pode ser claro, fosco, leitoso e colorido ou também receber uma camada refletora. O acabamento fosco ou leitoso resulta em uma luz suave e difusa, evitando o ofuscamento e o aparecimento de sombras fortes provenientes do brilho intenso do filamento, como ocorre com o uso de lâmpadas de acabamento claro. As lâmpadas coloridas podem ser revestidas internamente à base de sílica colorida ou externamente à base de pigmentos específicos para lâmpadas. As refletoras recebem um revestimento interno à base de alumínio que dirige a luz em uma determinada direção, formando um fecho de luz concentrada e controlada.

Halógenas

As lâmpadas incandescentes de quartzo, também conhecidas como lâmpadas halógenas, constituídas por um tubo de quartzo, dentro do qual existem um filamento de tungstênio e partículas de iodo, flúor e bromo adicionados ao gás inerte. Essas lâmpadas, se comparadas com as incandescentes comuns, possuem vida mais longa, não têm seu bulbo enegrecido, possuem alta eficiência luminosa, excelente reprodução de cores e dimensões reduzidas.

Essas lâmpadas liberam uma grande quantidade de calor e são pressurizadas. Atualmente o modelo de lâmpadas quartzo-halógenas muito utilizado são as dicróicas. A Figura 8 mostra os diversos modelos de lâmpadas halógenas.



Figura 8 - Variados modelos de lâmpada halógenas [10].

As lâmpadas halógenas são modernas, de dimensões muito pequenas (cabem em um cubo de cinco centímetros de aresta) e possuem um filamento especial precisamente focalizado no refletor dicróico multifacetado. Algumas lâmpadas operam em 12 volts, exigindo um transformador pequeno; já outras funcionam diretamente em 127 volts ou 220 volts. As halógenas possuem luz branca e clara, com excelente reprodução de cores, ressaltando o colorido dos objetos e assim tornando-os mais vibrantes e destacados. Graças à sua agradável temperatura de cor, combina bem com outras lâmpadas halógenas ou fluorescentes, sem mudança do equilíbrio e tonalidade de cor do ambiente [11].

Uma de suas vantagens é a sua temperatura de cor igual a da incandescente. Uma lâmpada incandescente emite luz com uma temperatura de cor de aproximadamente 2.700 K, que está perto da extremidade avermelhada da escala da Figura 9. Como a lâmpada incandescente contém um filamento que é aquecido até emitir luz, a temperatura do filamento corresponde à temperatura de cor da luz

Tecnicamente falando, quando se trata de temperatura de cor, apesar da utilização do termo “temperatura” ele não está associado diretamente a calor ou frio trazida pela lâmpada ao ambiente. O termo vem da radiação de um corpo negro - a luz emitida pelo objeto sólido com certas propriedades, aquecido até atingir o ponto de incandescência - e é expressa em graus Kelvin (K), uma medida padrão de temperatura absoluta. À medida que o corpo negro aquece, a luz que ele emite passa por uma sequência de cores, que vai do vermelho ao laranja e daí para amarelo, branco e azul. É muito semelhante com o que acontece com uma barra de ferro aquecida na forja de um ferreiro, ou a ponta de um maçarico. A sequência de cores descreve uma curva em um espaço de cor.



Figura 9 - Temperatura de cor [12].

A análise espectral da luz visível possibilita a definição da Temperaturas de Cor Correlata – TCC de fontes de luz branca não incandescentes, como as lâmpadas fluorescentes e os LEDs. A temperatura real de uma fonte LED de 2.700 K é, geralmente, de 50° a 80° C, embora a fonte LED emita uma luz da mesma cor de um filamento aquecido a uma temperatura de 2.700 K.

Determinadas temperaturas de cor, da quente à fria, passando pela neutra, como na classificação da Tabela 3, são associadas a certas fontes de luz e a certos ambientes. A

temperatura de cor também altera o efeito emocional de um espaço e pode afetar drasticamente a aparência dos objetos expostos em lojas, galerias e museus. Escolher a temperatura de cor certa corresponde a ter a fonte de luz certa para o ambiente, podendo influenciar positivamente no comportamento do consumidor ou aumentar a produtividade em locais de trabalho.

2700 K a 3200 K. Temperatura de Cor preferida dos arquitetos e decoradores, pois está ligada ao conforto, com uma luz mais amarelada. É o caso das lâmpadas incandescentes e das lâmpadas halógenas, muito utilizadas em ambientes “mais quentes”, aconchegantes. Entre os LEDs, a versão com esta temperatura é menos eficiente energeticamente que as com temperatura de cor maior, como por exemplo, 4400K ou acima. Uma característica das fontes com temperatura de cor alta é que o índice de reprodução de cor é excelente, entre CRI 90 e CRI 100 para lâmpadas halógenas e incandescentes. Para os LEDs com esta temperatura de cor, varia entre CRI 80 e CRI 90.

4200 K-5000 K. Temperatura de Cor mais “neutra”, entre o amarelado e o extremo “branco azulado”, tem sido uma opção muito utilizada no ambiente de trabalho e em alguns ambientes residenciais, como a cozinha e a lavanderia. Uma vantagem dos LEDs com esta temperatura de cor é que a eficiência é melhor que as dos LEDs de 2700K-3200K, em aproximadamente 10%. Entre as lâmpadas convencionais, esta temperatura de cor “neutra” é mais encontrada nas lâmpadas fluorescente, sendo muito raro entre as lâmpadas incandescentes e halógenas. Uma característica das fontes com temperatura de cor neutra é que o índice de reprodução de cor é bom, entre CRI 70 e CRI 80.

5500 K-10000 K. É a temperatura de cor conhecida como a “luz de centro cirúrgico”, muito branco, quase azulado. É também a mais eficiente entre os LEDs, produzindo mais lumens para cada 1 watt, quando comparada com os LEDs de 3200K e 4400K.

Tabela 3 - Classificação Quanto à temperatura de cor

TEMPERATURA DE COR	CLASSIFICAÇÃO	TONALIDADE DA COR
>5300K	Fria	Branco Frio
Entre 3300K e 5300K	Intermediária	Branco Neutro
<3300K	Quente	Branco Quente

O diagrama de cromaticidade da Figura 11 foi criado pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE – sigla em francês) para definir todo o espectro de cores visíveis a um observador mediano, sobreposto pela curva do corpo negro, Figura 10.

A avaliação de cromaticidade é feita para identificar a cor de uma fonte de luz, tipicamente expressa pelas coordenadas (x, y) sobre um gráfico de Cromaticidade como o da Figura 10.

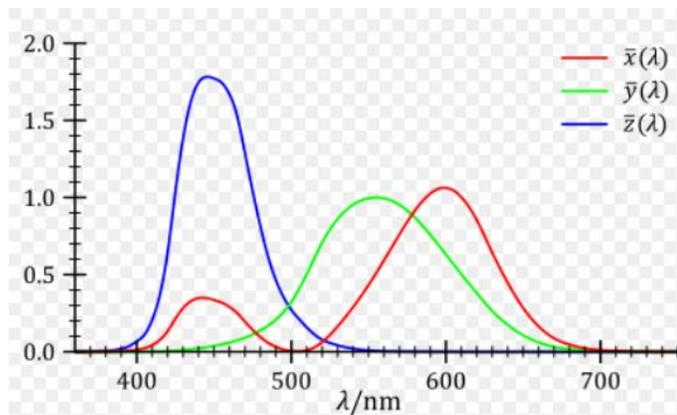


Figura 10 - Os tristímulos de referência apresentam igual área entre as curvas e o eixo das abscissas [14].

O uso dos três tristímulos padrões (Figura 10) permite representar o Diagrama de Cromaticidade (Figura 11), contendo apenas x e y. Por meio deste sistema cada cor pode ser representada sob a forma desta coordenada.

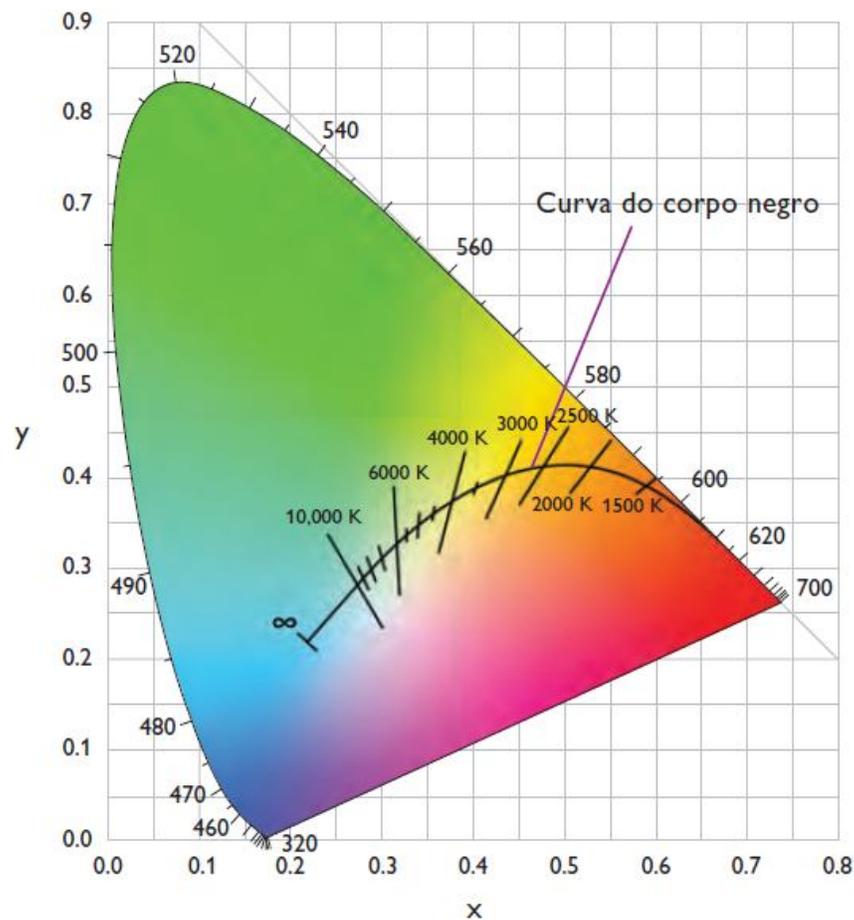


Figura 11 - A curva de corpo negro define o espectro de temperaturas de espaço de cor [13].

5.1.2 Lâmpadas de descargas

Podemos dividir as lâmpadas de descarga mais usuais em fluorescentes, de luz mista, de vapor de mercúrio e de vapor de sódio de alta e baixa pressão, além de algumas outras. As lâmpadas de descargas que serão tratadas são somente as lâmpadas fluorescentes, pois do ponto de vista deste trabalho são essas que possuem boa aplicação de iluminação em interiores.

As lâmpadas fluorescentes tubulares eram bastante usadas, mas as lâmpadas compactas ainda não tinha muito mercado. Elas começaram a se popularizar no Brasil por questões energéticas, pois durante o apagão energético ocorrido no final dos anos 1990, as tradicionais lâmpadas incandescentes perderam mercado devido ao seu alto consumo de

energia [7]. Em muitos países, hoje, já é proibido usar lâmpadas incandescentes pelo mesmo motivo.

Fluorescente Tubular

As fluorescentes possuem ótimo desempenho e, por isso, são recomendadas para iluminação de interiores, tendo espectros luminosos indicados para cada tipo de iluminação. Entretanto, essas lâmpadas não permitem o destaque perfeito de cores.

A lâmpada fluorescente utiliza a descarga elétrica através de um gás para produzir energia luminosa. Tal lâmpada é constituída de um bulbo cilíndrico de vidro, que contém em suas extremidades eletrodos metálico de tungstênio (cátodos), por onde circula a corrente elétrica. O tubo da lâmpada fluorescente é preenchido por vapor de mercúrio ou argônio à baixa pressão, sendo a parede interna do tubo pintada com materiais fluorescentes à base de fósforo [11].

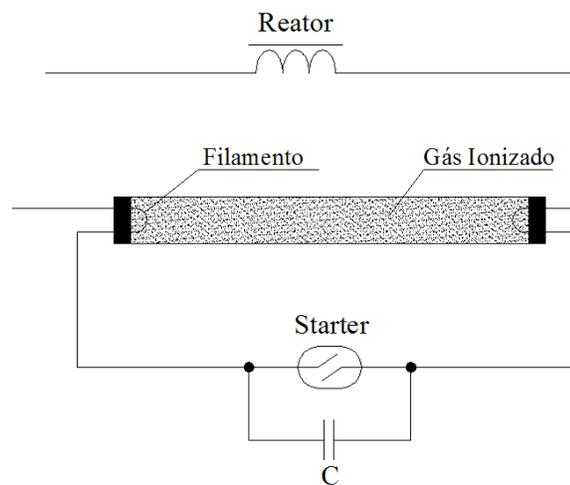


Figura 12 - Lâmpada Fluorescente. (Autor)

A corrente que atravessa o tubo produz a luz. Esta corrente deve ser limitada e estabilizada por um reator para manter as características de funcionamento da lâmpada. Sem reator, a lâmpada ligada diretamente à rede irá exigir mais e mais corrente até se queimar. A

corrente ideal para o funcionamento da lâmpada é limitada pelo reator. A Figura 12 nos mostra esses elementos

O *reator* é uma bobina com núcleo de ferro ligada em série e tem dupla função: produzir a sobretensão e limitar a corrente. Nos dias de hoje, utiliza-se o reator eletrônico [11].

O *starter* é um dispositivo usado na partida que emprega o princípio do bimetálico. Ele é uma lâmina composta por dois metais com coeficientes de dilatação diferentes. Como parte integrante do starter, tem-se um condensador ligado em paralelo com o interruptor, para evitar interferência em aparelhos de rádio [11].

Fluorescente Compacta

As lâmpadas fluorescentes compacta possuem o starter e o reator incorporado à sua base, além de base com rosca semelhante à da lâmpada incandescente, permitindo substituir lâmpadas incandescentes sem precisar de qualquer tipo de acessório [11]. Como mostra o site da EMPALUX [10], existem vários tipos de lâmpadas fluorescentes compactas. Cabe ao projetista a escolha do modelo adequado. Ver Figura 13.



Figura 13 - Modelos de Lâmpadas Fluorescentes Compactas [10].

A Fluorescente compacta é ideal para iluminar com qualidade e economia ambientes residenciais, comerciais e industriais, soluções para os mais variados ambientes. A compacta espiral é ideal para iluminação em ambientes residenciais e comerciais. A compacta Espiral colorida é ideal para decorar com qualidade e economia ambientes residenciais e comerciais criando excelentes efeitos decorativos. A super-compacta é perfeita para iluminação onde há necessidade de luminárias pequenas ou arandelas, sejam em residências, estabelecimentos comerciais, hotéis, restaurantes etc. A compacta Globo/Pêra é ideal para iluminar ambientes como cozinhas, clubes, estúdios, restaurantes, shopping e ambientes comerciais, onde se deseja uma iluminação soft. As compactas circulares podem ser utilizadas em restaurantes, ambientes residenciais, escritórios, salas de estar e jantar, hall de entrada, quartos, shopping e hotéis. Não necessita de instalações especiais.

A compacta PL é chamada assim por causa do seu encaixe com pinos. É ideal para iluminação em geral. Não possui reator incorporado. Podem ser utilizadas em luminárias fechadas e são indicadas para iluminação comercial, residencial, hotéis, restaurantes etc.

5.1.3 Lâmpadas de Estado Sólido

LEDs

As Lâmpadas LEDs também são conhecidos como lâmpadas de estado sólido.

Podemos encontrar variados modelos de lâmpada LED, existem as lâmpadas LEDs de bulbo tipo as incandescentes comuns, lâmpadas LEDs dicróica, Lâmpadas LEDs no formato PAR, lâmpada LED tubular tipo a fluorescente tubular T5 e T8.

O LED superou muitos desafios tecnológicos. Parece ser apenas um passo para novas descobertas, assim como foi para a incandescente de Edison, apesar de sua eficiência luminosa ser alta e já superar muitas outras fontes de iluminação.

De acordo com o CIE, uma radiação monocromática de comprimento de onda de 555nm (visão fotópica), a qual ocorre durante o dia, com 1 W equivale a 683 lumens, ou seja, 683 lm/W. Durante a noite o comprimento de onda é de 508nm (visão escotópica) e 1 W equivale a 1700 lumens, ou seja, 1700 lm/W. Este valor é o maior rendimento teórico que pode ser obtido por uma fonte luminosa que emite luz monocromática.

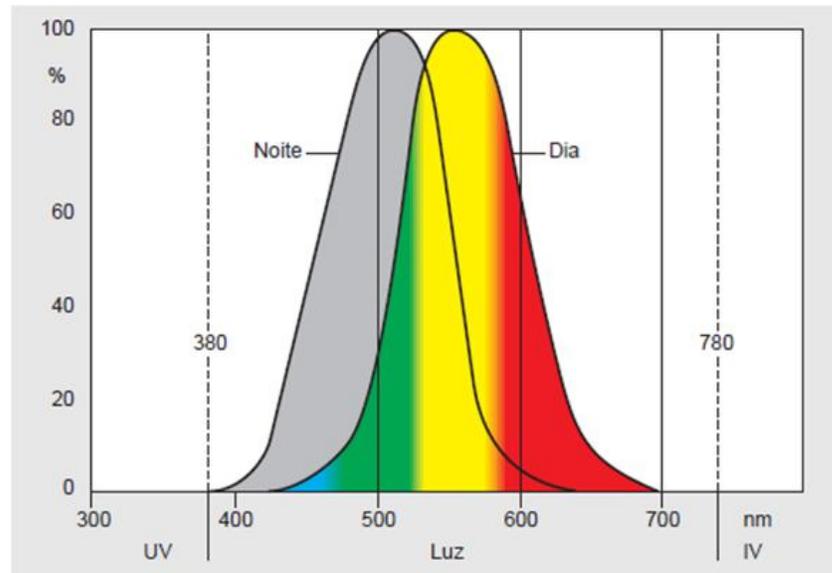


Figura 14 - Curva de Sensibilidade do olho a radiação monocromática [12].

A Figura 14 mostra o deslocamento das curvas de visibilidade, denominada de efeito Purkinje. Esse deslocamento corresponde a aproximadamente 10% do valor relativo.

Na prática a maioria das fontes luminosas não é monocromática e sua energia se distribui ao longo do espectro. Em função disso, o rendimento se reduz muito [3].

A tecnologia LED consegue ter eficiências de aproximadamente 130 lm/W, que representa aproximadamente 20% do máximo teórico. As lâmpadas incandescentes com eficiência luminosa de aproximadamente 15 lm/W representam aproximados 2,3 % do máximo teórico. Este salto tecnológico, praticamente 10 vezes maior, nos mostra o quanto à tecnologia pode crescer em questão de eficiência luminosa. Novas tecnologias já estão sendo estudadas como é o caso do OLED que veremos a seguir.

OLED

O *OLED* é um Diodo Orgânico Emissor de Luz e recebe o nome de orgânico devido à utilização de moléculas de Carbono em sua composição. Funciona por meio de uma corrente elétrica que passa por semicondutores prensados entre duas lâminas de vidro extremamente finas [16]. Atualmente possui 1,8 mm de espessura, com a possibilidade de ainda chegar a 1,5 mm. Muito leves, podem ser utilizados sem a necessidade de grandes estruturas de sustentação [15].

As luminárias OLED destacam-se também por sua alta eficiência energética, que possibilita uma economia de até 80%, com vida útil de cerca de dez mil horas. Já quando o assunto é a potência dessa luz, o OLED pode chegar a 150 (Lumens/Watt), 15 vezes mais do que as lâmpadas incandescentes [16].

O OLED será a próxima tendência em iluminação no mercado global nos próximos anos, complementando as já inovadoras soluções atuais de LED. O produto é baseado em uma tecnologia inovadora que revolucionará os conceitos de iluminação conhecidos atualmente. Com o OLED, as lâmpadas e luminárias formadas por pontos de luz darão lugar a uma única lâmina capaz de produzir uma luz difusa, potente, muito semelhante à natural, mais confortável, de longa vida útil, baixa voltagem, com mais eficiência energética, que permite um design ousado e de fácil reciclagem por não conter elementos tóxicos ao meio ambiente em sua composição. Ver Figura 15.



Figura 15 - Tecnologia OLED [16].

A Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI) assinou em 2010, parceria com a Philips, líder do mercado nacional de iluminação. As duas entidades firmaram um convênio de cooperação com duração de três anos para a execução do projeto EMO (Emerging Marketing OLED), que viabilizará o desenvolvimento de soluções de iluminação para os mercados emergentes utilizando a tecnologia OLED [15].

A semelhança não faz OLED e LED rivais de mercado. As duas tecnologias se completam. O LED produz uma luz pontual e com foco, enquanto o OLED produz uma luz difusa e distribuída por uma superfície.

Comparações técnicas entre as lâmpadas

Os comparativos a seguir foram retirados de catálogos de 2010 da América General, Sylvania, Osram, Ledmax, LLUM e Philips que podem ser encontrados nos sites dos fabricantes. As informações variam bastante de fabricante para fabricante, sendo assim foram considerados apenas os valores máximos e mínimos encontrados nos catálogos.

Tabela 4 - Comparativo dos índices de reprodução de cores

FONTE DE LUZ	IRC (%)
Incandescente	100
Halógena	100
Fluorescente Tubular	80-85
Fluorescente Compacta	80
LED	70-95
LED Tubular	85

Tabela 5 - Comparativo para eficiência luminosa.

FONTE LUMINOSA	EFICIÊNCIA LUMINOSA (lm/W)
Incandescente	10 - 15
Halógena	15 - 35
Fluorescente Tubular	40 - 100
Fluorescente Compacta	40 - 80
LED	35 - 130
LED Tubular	33-97

Tabela 6 - Comparativo para tempo de vida média

FONTE LUMINOSA	VIDA MÉDIA (Horas)
Incandescente	750 - 1.000
Halógena	1.500 - 2.000
Fluorescente Tubular	6.000-24.000
Fluorescente Compacta	6.000 - 24.000
LED	25.000 - 100.000
LED Tubular	50.000

Tabela 7 - Comparativo para Temperatura de Cor - TCC

FONTES LUMONOSAS	2700 K	3000 K	3500 K	4100 K	5000 K – 6500 K
Incandescente	X				
Halógena		X			
Fluorescente tubular				X	X
Fluorescente Compacta	X	X	X	X	X
LED	X	X	X	X	X
LED Tubular					X

Se olharmos na Tabela 4, veremos que o IRC acima de 80% tem qualificação boa e pode ser bem empregado em iluminação de interiores. Tendo as incandescentes IRC 100% e a LED com o menor IRC de 70%. Podemos encontrar na Tabela 10 essas classificações de

IRC. Notadamente, na comparação não houve disparidades na qualidade de iluminação de interiores sendo todas as lâmpadas classificadas como Bom ou Excelente para a reprodução de cor.

Na Tabela 5, os comparativos para eficiência luminosa são valores discrepantes, como, por exemplo, é o caso do LED, onde para uma mesma tecnologia é possível encontrar lâmpadas com eficiência luminosa de 35 lm/W até 130 lm/W. A maioria das lâmpadas LED é bem eficiente. Porém, podemos encontrar no mercado LEDs de baixa potência com eficiências de 35 lm/W. Neste caso, optar por outra tecnologia mais eficiente pode ser mais econômico (lâmpadas fluorescentes, por exemplo).

No comparativo da Tabela 6 observamos que o tempo de vida média da lâmpada LED é surpreendentemente maior que qualquer outra lâmpada. Esse é o grande diferencial da tecnologia LED.

Outro quesito de qualidade de iluminação é mostrado na Tabela 7, onde as lâmpadas: incandescente, halógena, fluorescente tubular e a LED Tubular são limitadas a apenas uma ou outra temperatura de cor. O LED e a fluorescente compacta são mais flexíveis, tendo todas as opções.

6 Iluminação de Interiores

Veremos neste capítulo técnicas usadas para iluminar artificialmente locais fechados, tais como galpões industriais, lojas, residências, escritórios, oficinas, auditórios, salas de aula etc.

O projetista deve sempre atender aos seguintes requisitos para o projeto:

- Boas condições de visibilidade
- Boa reprodução de cores
- Economia de energia elétrica
- Facilidades e menores custos de instalação e manutenção
- Preço inicial compatível
- Combinar iluminação natural com artificial

Na execução do projeto devemos procurar atender as condições destacados a seguir:

É extremamente importante definir a iluminância do local de forma adequada. A iluminância é um parâmetro para os cálculos de iluminação. Tais valores são normativos, para garantir boa visibilidade ao usuário. A ABNT NBR 5413 estabelece três valores – mínimo médio e máximo de iluminância, cuja seleção é realizada por uma ponderação de valores. Esses valores são orientativos e o projetista deve tomar como parâmetros: o tipo de tarefa a ser realizada, a idade do usuário, a refletância do fundo, a velocidade e a precisão da tarefa. Na Tabela 8 encontramos iluminâncias por classe de tarefas visuais.

Tabela 8 - Iluminância por classe de tarefa visual [17].

CLASSE	ILUMINANCIA (LUX)	TIPO DE ATIVIDADE
A – Iluminação geral para áreas usadas interruptamente e ou com tarefas visuais simples	20 – 30 – 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 – 75 - 100	Orientações simples para permanência curta
	100 – 150 - 200	Recinto não usado para trabalho contínuo; depósitos
	200 – 300 – 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
B- Iluminação geral para áreas de trabalho	500 – 750 – 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000 – 1500 – 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C – Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 – 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000 – 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem e microeletrônica
	10000 – 15000 – 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Nota: As classes, bem como os tipos de atividade não são rígidos quanto às iluminância limites recomendadas, ficando a critério do projetista, avançar ou não nos valores das classes/tipos de atividade adjacentes, dependendo das características do local/tarefa.

Determinar a iluminação necessária a um ambiente significa estabelecer a intensidade e a distribuição da radiação visível adequadas aos tipos de atividades e às características do local.

A observação da Tabela 8 indica que, para cada tarefa visual existem três valores de iluminância, identificados como mínima, média e máxima. A escolha é feita por uma ponderação de fatores que leva em conta a idade do usuário, a velocidade de precisão da tarefa visual e a refletância do fundo da tarefa conforme a Tabela 9.

Quando a soma algébrica da ponderação for igual a -2 ou -3 adota-se a iluminância mínima; ao passo que quando a ponderação resultar em um valor +2 ou +3 adota-se a iluminância máxima; e a iluminância média nos outros casos [3].

Tabela 9 - Fatores determinantes da iluminação adequada [17].

CARACTERÍSTICAS DA TAREFA E DO OBSERVADOR	PESO		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítico
Refletância do fundo	Superior a 70%	30% a 70%	Inferior a 30%

No processo da visão, os raios luminosos penetram pela pupila. A córnea e o cristalino representam uma lente que envia estímulos nervosos ao cérebro. Sendo a imagem dos objetos invertida na retina, cabe ao cérebro a sua reversão.

Existem aproximadamente 6 milhões de Cones. Estes são muito mais sensíveis à luz do que os bastonetes, permitindo a visão para grandes luminosidades. Sua densidade é maior na fóvea, responsável pela visão das cores ou visão fotópica. Já os bastonetes, são 120 milhões e são adaptados para baixas luminosidades, ou seja, atuam na visão dos claros e escuros ou visão escotópica, apresentando uma maior densidade na zona periférica da retina [3].

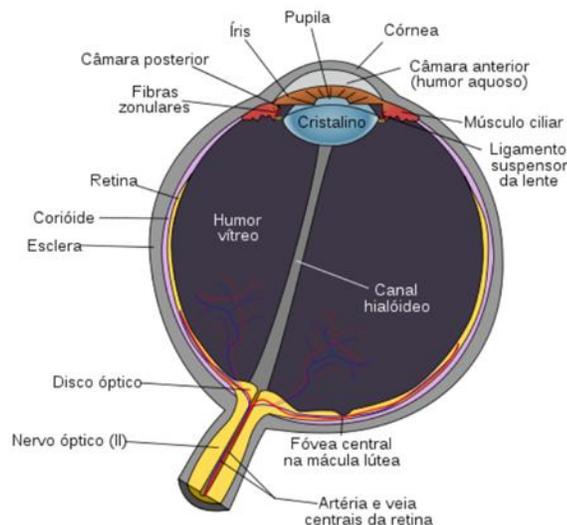


Figura 16 - Esquema do olho humano [18].

Do ponto de vista fisiológico, as principais características do olho humano, durante o processo de visão, estão ligadas a: acomodação, campo de visão, acuidade, persistência visual e visão de cores.

A acomodação está ligada ao foco e permite a visão nítida de objetos situados a diferentes distâncias. Além da córnea e do cristalino, a acomodação depende dos músculos do olho. A acomodação diminui rapidamente com a idade e a partir dos 60 anos há uma diminuição anormal da pupila, e por isso exige uma maior iluminação sobre a tarefa visual [3].

A adaptação está principalmente ligada com a abertura da pupila, que se altera com os diferentes níveis de iluminação. Quando existe muita luz, a pupila se contrai e a focalização dos objetos se processa principalmente na zona central da retina, próximo do nervo ótico da retina. Quando está escuro, a pupila se dilata, permitindo que a imagem se forme ao longo da sua periferia, não havendo focalização para um ponto específico. Um exame mais minucioso, a nível celular da retina, revela que ela é constituída por dois tipos de nervos: os cones e os bastonetes, mostrados na Figura 17.

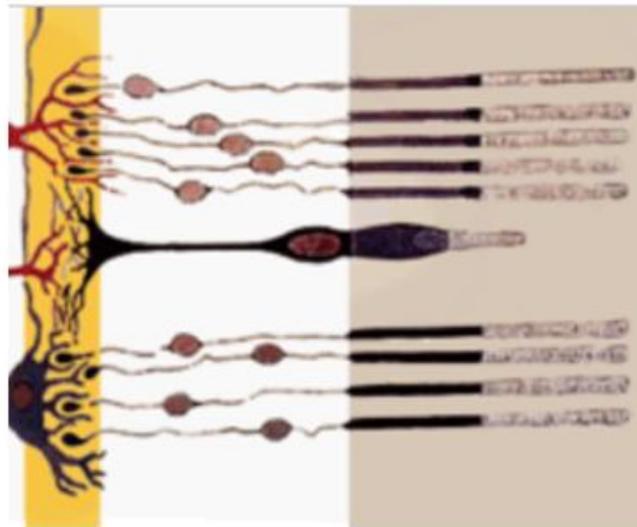


Figura 17 - Imagem de 1 cone e 9 bastonetes [18].

Procura-se evitar o ofuscamento, que, de acordo com COSTA [3], está ligado com a sensação de claridade ou brilho, podendo ser direto ou refletido.

Deve-se procurar obter uma distribuição uniforme das iluminância nos planos iluminados.

Fazer a escolha do posicionamento das luminárias e pontos de luz pode evitar esse tipo de mal-estar causado ao olho humano.

Obter uma correta reprodução de cores dos objetos e ambientes iluminados, também é importante. A reprodução de cores de uma lâmpada é medida pela escala IRC (Índice de reprodução de cores). Ver Figura 18.



Figura 18 - Diferença de reprodução de cor [6].

Quanto mais próximo este índice for ao IRC 100, mais fielmente as cores serão vistas. Um índice de 100% corresponde à reprodução de cor referida a um iluminante padrão [3]. Lâmpadas incandescentes e halógenas possuem IRC = 100%. A Tabela 10 apresenta os conceitos de reprodução de cor desejada.

Tabela 10 - Índice mínimo de reprodução de cores [19].

REPRODUÇÃO DE COR DESEJADA	INDICE	TEMPERATURA DE COR (K)	EXEMPLOS DE RECINTOS
Excelente	>90	6000 a 7500	Indústria têxtil, de tintas e gráfica
		4000	Museu, indústria gráfica, galerias
Boa	80	4000	Escritórios, Halls, Lojas
		3000	Salas de reuniões, residências
Razoável	60	-	Corredores, escadas, trabalho mais pesado
Muito baixa	<60	-	Iluminação Pública, indústria de fundição/laminação, depósitos de sucatas, cais do porto, áreas abertas, canteiros de obra.

Técnica de iluminação é uma arte multidisciplinar que envolve muitas partes de um projeto e que não deve levar em conta apenas os aspectos quantitativos, mas também os qualitativos, de modo a criar uma iluminação que satisfaça os requisitos que o usuário exige do espaço iluminado.

Iluminação Residencial

As paredes de uma residência delimitam espaços para muitas atividades como relaxar, estudar, trabalhar, além de possuir espaços para armazenar objetos. Cada uma dessas áreas pede uma diferente solução em iluminação.

Nas salas de estar, dormitórios, corredores e quartos de banho, os níveis de iluminância não precisam ser elevados.

O projetista deve ficar atento à harmonia da iluminação com a arquitetura e a decoração. Para essas finalidades está bastante difundida a utilização de luminárias de iluminação direta, que orientam o fluxo luminoso para a região a iluminar. Será sempre interessante, por questões de flexibilidade, se colocar vários focos de luz no ambiente para se obter uma iluminação específica para cada atividade que se realize no local [19].

Tabela 11 - Níveis de Iluminância recomendados para iluminação residencial [19]

NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA RECOMENDADOS	
Sala de estar, dormitórios, quartos de banho (geral)	150 lux
Cozinha (fogão, mesa, pia) espelhos (penteadeira e banheiro)	250-500 lux
Mínimo recomendado para ambientes não destinados ao trabalho	100 lux

A utilização das lâmpadas halógenas, aconselhadas por Moreira [19], têm a vantagem de custo inicial baixo, porém cabe ao projetista verificar a aplicabilidade de lâmpadas LED, dicróica ou PAR nesses locais de baixa iluminância, pois a lâmpada LED tem alta eficiência luminosa e tempo de vida média alta, além de boa iluminação direta, podendo ser substituída das halógenas.

Na Figura 19 encontram-se as lâmpadas LED que podem ser utilizadas em residências.



Figura 19 - Lâmpadas LED residenciais [12].

Iluminação Industrial

De acordo com Moreira [19], cada tipo de lâmpada é indicado de acordo com a altura do galpão da indústria. Casos típicos de indústrias de montagem eletrônica, seção de controle de qualidade, micromecânica de precisão etc. Galpões que tenham a altura da luminária ao

plano de trabalho de 3 a 4m, as lâmpadas fluorescentes são as mais indicadas. No caso de indústrias com galpões maiores (iluminação acima de 5 m do plano de trabalho), as lâmpadas de vapor de sódio ou iodeto metálico poderão ser indicadas. Em caso de grandes alturas de montagem e onde não se dê importância ao fator reprodução de cores, deverá ser estudada a utilização de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, para economia de energia elétrica e de manutenção.

A iluminação de fábricas exige um estudo cuidadoso das diversas soluções possíveis, de forma a se escolher a mais econômica.

As lâmpadas da Figura 20 possuem eficiência de 80 lm/W e tempo de vida médio de mais de 50.000 horas, opções de 20 W a 120 W, com fluxo luminoso de 1.600 lm a 9.600 lm, seu IRC é maior que 80%, seu TCC varia de 2.700 K até 7.000 K.



Figura 20 - Lâmpadas LED Industriais

Os galpões industriais são locais com muita poeira e ao longo da vida útil da lâmpada é comum ocorrer uma diminuição do fluxo luminoso, em razão da própria depreciação normal do fluxo da lâmpada e também deste acúmulo de poeira sobre as superfícies da lâmpada e do refletor. Este fator deve ser considerado no cálculo do projeto de iluminação, a fim de

preservar a iluminância média projetada sobre o ambiente ao longo da vida útil da lâmpada [6].

Em alguns casos a indústria apresenta ambiente com gases e vapores explosivos e contaminantes. Nesse caso são indicados o uso de luminárias herméticas ou a prova de explosões. Mais informações podem ser encontradas na norma NBR 9518.

Iluminação Comercial

Um dos principais fatores para o sucesso de uma instalação comercial é a iluminação. Em qualquer loja, escritório, banco, seja qual for a atividade, a iluminação vai determinar o ambiente, os destaques, as cores e os pontos de maior interesse.

Uma boa iluminação comercial deve atender às seguintes necessidades:

- Chamar a atenção;
- Gerar interesse;
- Criar uma atmosfera agradável;
- Integrar-se a arquitetura e identidade do local;

Nesses locais, devido ao fato de as instalações funcionarem várias horas por dia, é muito importante a alta eficiência luminosa, e como esses locais geralmente possuem ar-condicionado é aconselhável evitar o uso de lâmpadas incandescentes devido aos raios infravermelhos que aquecem o ambiente causando gastos adicionais de energia ao ar condicionado.

De acordo com Moreira [19], na iluminação interna das lojas dá-se preferência para lâmpadas fluorescentes e na iluminação de vitrines ele aconselha o uso de lâmpadas halógenas. Por exigir um alto IRC essas técnicas cumprem seus objetivos, mas como as lâmpadas ficam ligadas por muitas horas diárias, a conta pode ficar bem elevada. O LED

nesses casos é uma boa alternativa, tem baixo consumo, não emite raios infravermelhos, e tem IRC alto e boa iluminação direta.

Na Figura 21 podemos observar os modelos diferenciados de lâmpadas LEDs para iluminação comercial.



Figura 21 - Lâmpadas LED Comerciais

Informações de Embalagens

No Brasil ainda não se tem uma norma que padronize os dados técnicos nas embalagens das lâmpadas. Os fabricantes informam somente características elétricas como potência e tensão de operação. São poucos os fabricantes que disponibilizam outras informações. Na União Européia, já estão providenciando uma norma para 2012, em que os fabricantes devem informar vários dados técnicos nas embalagens. As novas lâmpadas no mercado, como LED e fluorescentes, apresentam características diferentes, o que faz com que se adaptem a várias aplicações. Os fabricantes de lâmpadas terão de apresentar informações sobre as características de rendimento das respectivas lâmpadas através de ícones ou informações textuais apostos na embalagem.

Todos os fabricantes de lâmpadas têm a liberdade de escolher os seus próprios ícones ou informações textuais para apresentação das informações obrigatórias, desde que os referidos ícones ou texto sejam de fácil compreensão [20].

Resistência aos ciclos ligar/desligar

Este tipo de informação é especialmente importante no caso das lâmpadas fluorescentes compactas. As lâmpadas fluorescentes compactas normatizadas (com 3.000-6.000 ciclos de ligar/desligar) não devem ser instaladas em locais onde sejam frequentemente ligadas e desligadas (mais de três vezes por dia em média), como em casas de banho e corredores com sensores de movimento, porque podem não atingir o tempo de vida indicado na embalagem. Todavia, existem lâmpadas fluorescentes compactas que podem ser ligadas e desligadas até um milhão de vezes e que são mais adequadas para esse tipo de locais. Este ícone apresenta o número mínimo de ciclos ligar/desligar .



Figura 22 - Exemplo de ícone para resistência a ciclos on/off [20].

Tempo de aquecimento

Este tipo de informação é especialmente importante no caso das lâmpadas fluorescentes compactas. As lâmpadas fluorescentes compactas normais levam mais tempo a aquecer e a atingir a luminosidade máxima do que outros tipos de lâmpadas (até 2 segundos para arrancar e até 60 segundos para atingir 60% da luminosidade máxima depois de ligadas).

Contudo existem determinados tipos de lâmpadas fluorescentes compactas especiais que começam a funcionar quase tão rapidamente depois de ligadas, de forma semelhante às lâmpadas incandescentes.



Figura 23 - Exemplo de ícone para tempo de aquecimento [20].

Regulação da intensidade

A presença deste logotipo na embalagem de uma lâmpada fluorescente compacta ou de uma lâmpada LED quer dizer que a lâmpada pode ou não ser compatível com a utilização de reguladores do Fluxo Luminoso.

Mas também existem lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas LED especiais que, à semelhança das lâmpadas incandescentes melhoradas, permitem regular a intensidade da luz.



Figura 24 - Exemplo de ícone para regulação da intensidade de luz [20].

Superfície Fotométricas

Em muitos casos informação de superfície fotométrica não é encontrada na embalagem este tipo de informação pode ser encontrado no catalogo do fornecedor, mas o que vem a ser superfície fotométricas e para que serve?

De acordo com Moreira [19], a distribuição de luz realizada por uma fonte e pode ser representada por uma superfície definida pela distribuição espacial dos valores da intensidade luminosa em cada direção e uma das suas representações pode ser visto abaixo.

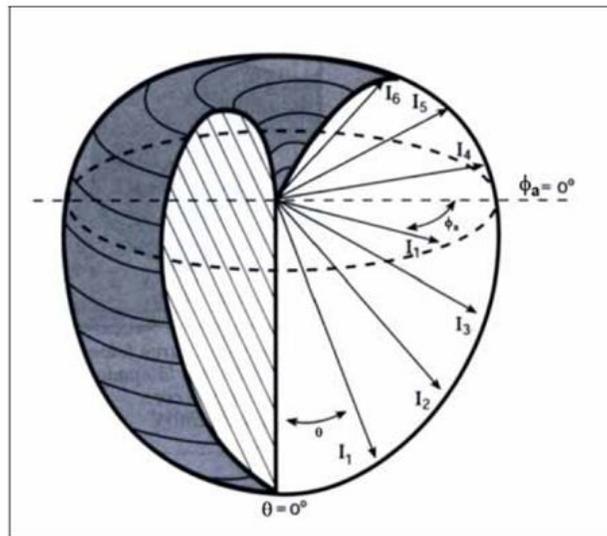


Figura 25 - Superfície fotométrica [19].

Por ser uma distribuição espacial, a superfície fotométrica não pode ser representada diretamente sobre um plano. Para que a representação seja possível, adotam-se projeções dessa superfície sobre um plano. A interseção de uma superfície fotométrica por um plano que passa pelo centro da fonte luminosa é uma curva fotométrica, que pode ser horizontal ou vertical. Segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a curva fotométrica é “uma curva, geralmente polar, que representa a variação da intensidade luminosa de uma fonte segundo um plano passando pelo centro em função da direção” [19].

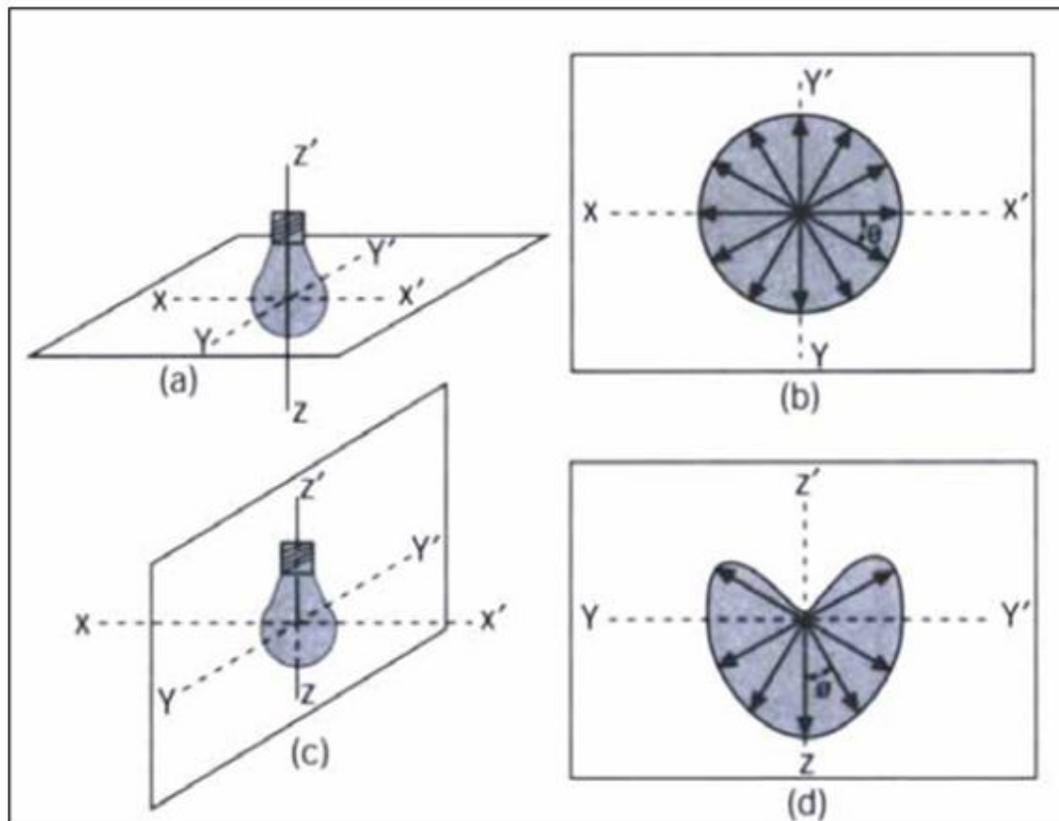


Figura 26 - Curvas fotométricas horizontais e verticais [19].

Na prática essas mudanças farão com que todos os consumidores possam comparar diferentes tipos de lâmpadas melhorando sua capacidade de escolha.

7 Estudo de caso: LED, Incandescente e Fluorescente

Para se obter respostas que ajudem a analisar a escolha ou substituição de um sistema de iluminação por outro, os profissionais devem estudar cada caso e avaliar o tempo de retorno do investimento. Quando são feitas as contas para os LEDs, notamos que para iluminação pública esse tempo de retorno já é favorável, ou seja, mesmo o custo inicial sendo maior, a economia do consumo e a durabilidade fazem com que seja um bom investimento.

O LED já ocupa seu lugar na iluminação pública onde temos o seguinte exemplo encontrado em RODRIGUES *et al.* [21]: um estudo realizado pela UFJF para a troca de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão por LED, renovando a iluminação do anel viário da Faculdade de Engenharia da UFJF. Alguns dos dados relevantes para comparação de tecnologia se encontram na Tabela 12.

Tabela 12 - Dados relevantes para comparação de tecnologia [21].

LUMINÁRIA UTILIZADA	IRC (%)	VIDA ÚTIL (HORAS)	CUSTO DE INSTALAÇÃO	CONSUMO ANUAL
VSAP 250W	25(Max)	20.000	R\$ 14.000	68,7 MWh
LED 140W	70(min.)	50.000	R\$ 67.200	37,8 MWh

O estudo realizado comprovou a viabilidade do uso de LED. A faculdade obteve retorno financeiro e melhora na qualidade da iluminação. Na Figura 27, podemos observar a diferença para os diferentes tipos de lâmpadas. A iluminação com LED em primeiro plano, uma iluminação com o IRC alto, ou seja, conseguimos distinguir as cores das casas o gramado, e ao fundo a iluminação com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão que tem IRC de 20%, tendo a imagem amarelada e pouca cor.



Figura 27 - Iluminação noturna de parte do anel viário com LEDs, em primeiro plano, e com VSAP, ao fundo [21].

Para nosso trabalho faremos agora confrontos entre lâmpadas usadas em interiores com a tecnologia LED, comparando custos de instalação, custos de reposição de lâmpadas e o custo do consumo, o somatório destes custos nos dará uma idéia econômica.

As lâmpadas são bem diferentes com relação à quantidade de fluxo luminoso produzido. O primeiro passo é fazer uma equivalência das duas lâmpadas. Esse cálculo de equivalência dos fluxos envolve MMC (Mínimo Múltiplo Comum) entre os dois valores de fluxos luminosos das lâmpadas, o resultado será a quantidade de lumens do recinto. Desta forma a quantidade de lâmpadas utilizadas para iluminar o recinto será um numero inteiro para as duas lâmpadas que estão sendo comparadas.

Tendo a quantidade de lâmpadas podemos calcular o custo de instalação:

Os tempos de vida médias das lâmpadas são bem diferentes. O mesmo raciocínio que usamos para encontrar a quantidade de lâmpadas é usado para calcular o tempo total de uso. Faremos o uso do MMC entre os valores de vida média das lâmpadas. Então, dividindo o tempo de uso pelo tempo de vida média das lâmpadas, o resultado menos um (que é a lâmpada de instalação) nos dará a quantidade de vezes que vamos ter que fazer as reposições, podendo assim calcular esse custo.

Uma observação importante a se fazer é o preço do kWh usado nas contas do consumo. De acordo com a Light o valor da tarifa no Rio de Janeiro para faixa de consumo de 51 a 300 kWh residencial, já com imposto, é de 0,418 centavos por kWh [23].

O Custo de consumo é a potência de todas as lâmpadas instaladas, vezes o tempo de uso, vezes o kWh, dividido por mil.

A economia é o objetivo destas comparações e será comparada em porcentagens dada pela equação:

$$Economia = \left(1 - \frac{CustoTotal_{L\grave{a}mpada_de_menor_gasto}}{CustoTotal_{L\grave{a}mpada_de_maior_gasto}} \right) \cdot 100\%$$

O primeiro confronto é interessante para iluminação residencial, onde as velhas incandescentes de Edson encontram até hoje espaço no mercado por conta de seu baixo preço e facilidade de manutenção. Esta enfrentará a Lâmpada LED da Lemnis [22], que possui alta tecnologia, está no mercado a médio preço. Por ser importado, o acesso a esse tipo de lâmpada é menor, pois não é encontrada em qualquer esquina como as incandescentes. Esse confronto é interessante, suas características técnicas são bem parecidas. Vejamos a ficha técnica das duas lâmpadas na Tabela 13.

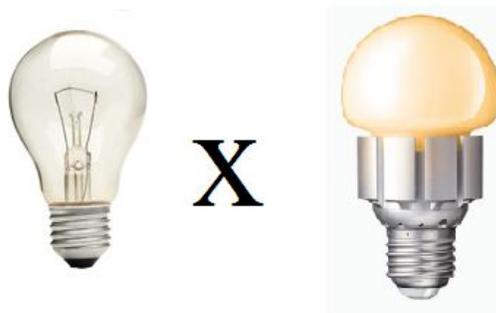


Figura 28 - Lâmpada Incandescente da Empalux a esquerda versus a Lâmpada LED da Lemnis a direita

Tabela 13 - Dados Técnicos das Lâmpadas

DADOS TÉCNICOS	INCANDESCENTE	LED Pharox 200 Flame
Fluxo Luminoso (lm)	516	240
Potência(W)	40	5
Eficiência Luminosa (lm/W)	12,9	48
Fator de Potência	1	-
IRC (%)	100	85
TCC(K)	2.700	2.200
Tempo de vida média(h)	750	25.000
Custo unitário (R\$)	2,00	36,00

A qualidade da luz produzida por essas duas lâmpadas é bem parecida, ambas de Temperatura de Cor Correlata quente e de IRC acima de bom, que atende os requisitos de iluminação de interiores.

Calcular a equivalência entre as lâmpadas:

$$MMC(240, 516) = 10.320$$

Este valor é a quantidade de lumens que cada lâmpada deve fornecer, desta forma o numero de lâmpadas necessárias é:

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_LED} = \frac{10.320}{240} = 43$$

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_incandescente} = \frac{10.320}{516} = 20$$

O tempo de uso é calculado:

$$MMC(750, 25.000) = 75.000$$

Podemos agora calcular a quantidade de vezes que cada lâmpada vai precisar ser reinstalada:

$$N^{\circ}_{de_Reposições_lâmpadas_LED} = \frac{75.000}{25.000} - 1 = 2$$

$$N^{\circ}_{de_Reposições_lâmpadas_incandescente} = \frac{75.000}{750} - 1 = 99$$

Tabela 14 - Valores quantitativo

LÂMPADA	RECINTO (lm)	Nº DE LÂMPADAS	TEMPO DE USO (Horas)	REPOSIÇÕES
LED Lemnis 200	10.320	43	75.000	2
Incandescente	10.320	20	75.000	99

O custo de instalação é:

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_LED} = 43 \times 36,00 = R\$1.548$$

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_incandescente} = 20 \times 2,00 = R\$40$$

Custo de reposição das lâmpadas:

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_LED} = 43 \times 36,00 \cdot 2 = R\$3.096$$

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_incandescente} = 20 \times 2,00 \cdot 99 = R\$3.960$$

Tabela 15 - Resultados Econômicos

LÂMPADA	CUSTO DE INSTALAÇÃO	CUSTO DE MANUTENÇÃO	CONSUMO	TOTAL DE GASTOS	ECONOMIA
LED Lemnis 200	R\$1.548	R\$3.096	R\$6.740	R\$11.384	61%
Incandescente	R\$40	R\$3.960	R\$25.080	R\$29.080	0%

Gastos com o consumo durante o tempo de uso:

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_LED} = \frac{5 \times 43 \times 75.000 \times 0,418}{1.000} = R\$6.740$$

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_incandescente} = \frac{40 \times 20 \times 75.000 \times 0,418}{1.000} = R\$25.080$$

Total dos gastos durante todo o tempo de uso:

$$Total_{Lâmpada_LED} = 1.548 + 3.096 + 6.740 = R\$11.384$$

$$Total_{Lâmpada_Incandescente} = 40 + 3.960 + 25.080 = R\$29.080$$

$$Economia = \left(1 - \frac{11.384}{29.080}\right) \cdot 100\% = 61\%$$

O confronto resultou em vitória da Led Pharox 200 Flame da Lemnis, com economia de 61% em cima das incandescentes.

Veremos agora um segundo confronto interessante, pois a Incandescente halógena surgiu para substituir as incandescentes de Edson em busca de mais eficiência e durabilidade, portanto não vai ser fácil para Led Pharox 200 Flame da Lemnis. Vejamos a ficha técnica das duas lâmpadas na tabela 15.

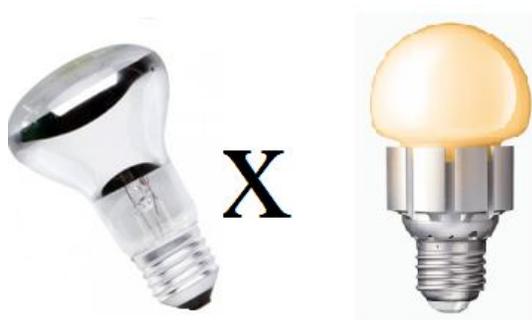


Figura 29 - Lâmpada Halógena da American General (AG) à esquerda versus a Lâmpada LED da Lemnis à direita.

Tabela 16 - Dados Técnicos das Lâmpadas

DADOS TÉCNICOS	Halógena	LED Pharox 200 Flame
Fluxo Luminoso (lm)	1020	240
Potência(W)	42	5
Eficiência Luminosa (lm/W)	24	48
IRC (%)	100	85
Fator de Potência	1	-
TCC(K)	3.000	2.200
Tempo de vida média(h)	2.000	25.000
Custo unitário (R\$)	10,00	36,00

As características da luz produzida por essas duas lâmpadas também são muito parecidas.

Tabela 17 - Valores quantitativos

LÂMPADA	RECINTO (lm)	Nº DE LÂMPADAS	TEMPO DE USO (Horas)	REPOSIÇÕES
LED Lemnis 200	4.080	17	50.000	1
Halógena	4.080	4	50.000	24

Tabela 18 - Resultados Econômicos

LÂMPADA	CUSTO DE INSTALAÇÃO	CUSTO DE MANUTENÇÃO	CONSUMO	TOTAL DE GASTOS	ECONOMIA
LED Lemnis 200	R\$612	R\$616	R\$1.776	R\$3.000	33%
Halógena	R\$40	R\$960	R\$3.511	R\$4.511	0

Nota: Memória de cálculo encontra-se no Anexo A2

O confronto resultou em vitória da Led PharoX 200 Flame da Lemnis, com economia de 33% em cima das halógenas incandescentes.

Veremos agora um terceiro confronto entre Lâmpadas para iluminação direta. Não podemos esperar muito da lâmpada halógena, pois está enfrentando o ponto forte da tecnologia LED, a Iluminação direta. Vejamos a ficha técnica das duas lâmpadas na tabela abaixo.

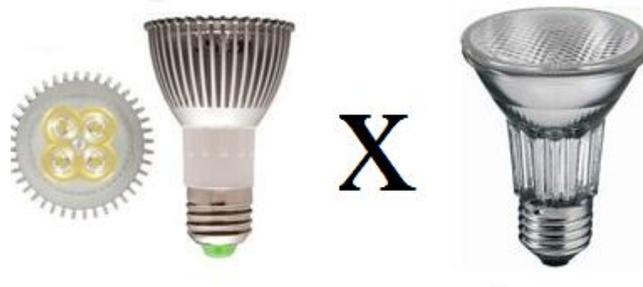


Figura 30 - Lâmpada LED PAR 20 da LEDMAX à esquerda versus a Lâmpada Halógena PAR 20 da OSRAM à direita.

Tabela 19 - Dados Técnicos das Lâmpadas

DADOS TÉCNICOS	Halógena PAR 20	LED PAR 20
Fluxo Luminoso (lm)	268	260
Potência(W)	50	4
Eficiência Luminosa (lm/W)	5,36	65
Fator de Potência	1	-
IRC (%)	100	80
TCC(K)	3.000	3.200
Tempo de vida média(h)	2.000	25.000
Custo unitário (R\$)	14,00	72,00

Qualitativamente as duas lâmpadas são muito parecidas, o LED perde em IRC e as duas se diferem na Temperatura de Cor Correlata (TCC), sendo, desta vez, a LED um pouco mais fria.

Tabela 20 - Valores quantitativos

LÂMPADA	RECINTO (lm)	Nº DE LÂMAPDAS	TEMPO DE USO (Horas)	REPOSIÇÕES
LED PAR 20	260	1	50.000	1
Halógena PAR 20	260	1	50.000	24

Tabela 21 - Resultados Econômicos

LÂMPADA	CUSTO DE INSTALAÇÃO	CUSTO DE MANUTENÇÃO	CONSUMO	TOTAL DE GASTOS	ECONOMIA
LED PAR 20	R\$72	R\$72	R\$83	R\$227	84%
Halógena PAR 20	R\$14	R\$336	R\$1.045	R\$1.395	0

Nota: Memória de cálculo encontra-se no Anexo A3

O confronto resultou em vitória da Led PAR 20 da LEDMAX, com economia de 84% em cima das halógenas PAR 20 da OSRAM. É surpreendente essa diferença.

Veremos agora um quarto confronto entre Lâmpadas LEDs e a Fluorescente compacta. Até o momento, a tecnologia LED vem desbancando candidatos, porém as lâmpadas fluorescentes um dia também já passaram por esses rivais, obtendo vitórias. É uma briga entre Reis. Vejamos a ficha técnica das duas lâmpadas na Tabela 19.

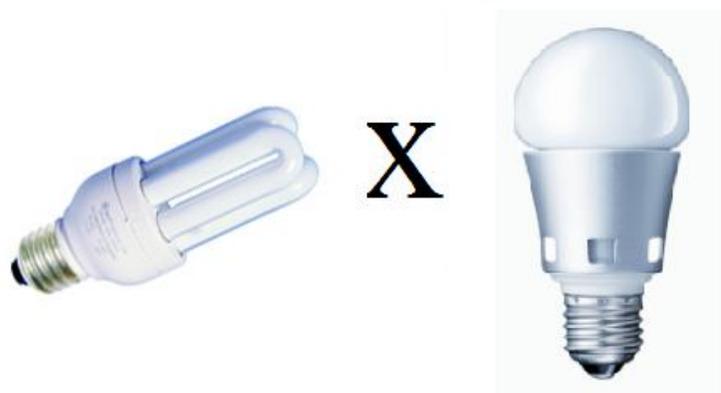


Figura 31 - Lâmpada Fluorescente Compacta da OSRAM à esquerda versus a Lâmpada LED da Lemnis a direita

Tabela 22 - Dados Técnicos das Lâmpadas

DADOS TÉCNICOS	Fluorescente Compacta	LED Pharox 300
Fluxo Luminoso (lm)	600	360
Potência(W)	11	6
Eficiência Luminosa (lm/W)	57	60
Fator de Potência	0,6	0,72
IRC (%)	80 - 89	80
TCC(K)	6.500	2.900
Tempo de vida média(h)	3.000	35.000
Custo unitário (R\$)	9,00	54,00

Qualitativamente, as duas lâmpadas são bem diferentes. A fluorescente apresenta fator de potência baixíssimo, que é uma característica das lâmpadas fluorescentes, tem temperatura de cor fria em comparação com a LED de temperatura de cor quente e que proporciona uma sensação de conforto ao ambiente. Os Índices de Reprodução de Cor das duas lâmpadas são bem próximos.

Tabela 23 - Valores quantitativos

LÂMPADA	RECINTO (lm)	Nº DE LÂMAPDAS	TEMPO DE USO (Horas)	REPOSIÇÕES
LED PAR 20	1.800	5	105.000	2
Halógena PAR 20	1.800	3	105.000	34

Tabela 24 - Resultados Econômicos

LÂMPADA	CUSTO DE INSTALAÇÃO	CUSTO DE MANUTENÇÃO	CONSUMO	TOTAL DE GASTOS	ECONOMIA
LED Lemnis 300	R\$270	R\$540	R\$1.316	R\$2.126	11%
Fluorescente Compacta	R\$27	R\$918	R\$1.448	R\$2.393	0

Nota: Memória de cálculo encontra-se no Anexo A4

O confronto resultou em vitória da Led Pharox 300 da Lemnis, com economia de 11% em cima das Fluorescentes Compacta da OSRAM. É surpreendente essa pequena diferença, ficando evidente que a tecnologia LED está tomando o espaço das fluorescentes compactas com maior qualidade e economia. Imagine o que vem por aí nos próximos anos. As duas tecnologias estão em constante evolução e essa briga está bem equilibrada. Cabe ao projetista verificar aspectos qualitativos, quantitativos e econômicos a fim de obter o melhor resultado no projeto.

Veremos agora um quinto confronto interessante para a iluminação de comércio, escritórios, cozinhas, indústrias e empresas, entre as lâmpadas Fluorescentes tubulares e as LEDs tubulares, Figura 32. Vejamos a ficha técnica das duas lâmpadas na Tabela 21.

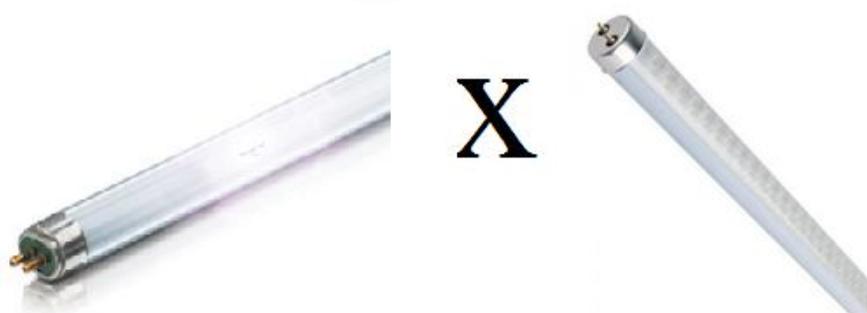


Figura 32 - Lâmpada Fluorescente tubular T8 da AG à esquerda versus a Lâmpada LED T8 da AG à direita.

Tabela 25 - Dados Técnicos das Lâmpadas

DADOS TÉCNICOS	Fluorescente Tubular T8	LED Tubular T8
Fluxo Luminoso (lm)	1.050	660
Potência(W)	16+2(Reator)	8
Eficiência Luminosa (lm/W)	61	82,5
Fator de Potência		
IRC (%)	80 - 89	85 - 90
TCC(K)	6.500	4.000 - 4.500
Tempo de vida média(h)	8.000	30.000
Custo unitário (R\$)	5,00	110,00

Nota: O reator mais lâmpada de 16 W consomem 18 W está incluído nos cálculos de consumo. O reator tem vida útil de 60.000 horas. Preço R\$6,00. O seu custo esta incluído no preço de instalação e reposição.

Qualitativamente, as duas lâmpadas são bem parecidas. A fluorescente tubular apresenta temperatura de cor fria, em comparação com a LED tubular, de temperatura de cor neutra, sendo o Índice de Reprodução de Cor das duas lâmpadas bem parecido.

Tabela 26 - Valores quantitativos

LÂMPADA	RECINTO (lm)	QUANTIDADE	TEMPO DE USO (Horas)	REPOSIÇÕES (Vezes)
LED PAR 20	23.100	35	120.000	3
Halógena PAR 20	23.100	22	120.000	14
Reator		22	120.000	1

Tabela 27 - Resultados Econômicos

LÂMPADA	CUSTO DE INSTALAÇÃO	CUSTO DE REPOSIÇÃO	CONSUMO	TOTAL DE GASTOS	CONSUMO
LED Tubular T8	R\$ 3.850	R\$11.550	R\$14.044	R\$29.444	0
Fluorescente Tubular T8	R\$ 110	R\$1.540	R\$17.656	R\$21.777	26%
Reator	R\$ 132	R\$ 132	R\$ 2.207		

Nota: Memória de calculo encontra-se no Anexo A5

O confronto resultou em vitória da Fluorescente Tubular T8 da AG, com economia de 26% em cima da LED tubular da AG. A fluorescente tubular já é bem antiga no mercado e seu custo unitário é bem pequeno e com alta eficiência luminosa, tornando ela uma ótima opção para iluminação de interiores de empresas, indústrias etc.

A tecnologia LED ainda não conseguiu imperar sobre as antigas tecnologias, mas mostra sinal de superioridade, apesar do seu custo inicial alto.

Outra questão que não entra no cálculo é a questão ambiental. O LED não contém materiais tóxicos e sua vida longa diminui muito na contribuição de resíduos ao meio ambiente, ao contrário de outras lâmpadas que precisam ser trocadas frequentemente, aumentando a contribuição de resíduos tóxicos ao meio ambiente, como é o caso das lâmpadas fluorescentes, que possuem mercúrio.

O importante é que as fontes de iluminação estão evoluindo e em breve poderão surgir lâmpadas mais eficientes. Ter a mente aberta e estar atualizado é uma vantagem para saber iluminar, usando a lâmpada certa para a atividade certa com eficiência luminosa.

Alguns dos pontos fortes e fracos da tecnologia LED serão citados no próximo capítulo.

8 Prós e Contras da Tecnologia LED

100.000 Horas de Vida Útil

O tempo de vida útil é função da potência aplicada ao LED. O calor provoca degradação do fósforo nos LEDs brancos causando uma depreciação no brilho e variação na temperatura de cor. O tempo de vida de 100.000 horas advém do uso do LED da época em que era usado para sinalização. Seu conceito para iluminação é outro. A intensidade do brilho é maior, exigindo maiores correntes e conseqüentemente elevação da temperatura, que diminui seu tempo de vida útil. As lâmpadas de LEDs são totalmente integradas. O driver fica muito próximo dos LED, dentro da base, e a área de dissipação de calor é reduzida. Assim sendo, é comum encontrar fabricantes de lâmpadas LED de boa qualidade informando 20.000 a 50.000 horas de vida útil.

Baixo Consumo de Energia

As Lâmpadas LED atuais consomem pouco quando comparada às lâmpadas de mercado, como as fluorescentes que precisam de reatores, gerando um consumo extra. A lâmpada LED proporciona menor emissão de calor ao ambiente, que em caso de instalações comerciais, resultará em menores gastos com refrigeração.

Alta Eficiência

Hoje os LEDs têm eficiência altíssima, mais de 110 lm/W. Sua aplicação deve ser estudada cuidadosamente. Existem diversos componentes que podem diminuir a eficiências das lâmpadas, como, por exemplo: luminárias para iluminação difusa ou sancas para iluminação indireta.

Ausência de Radiação Infravermelha

Não há componentes de comprimento de onda da faixa do infravermelho (acima de 780nm) nos LEDs, portanto a luz emitida por eles é "fria".

Ausência de Radiação Ultravioleta

A radiação ultravioleta é extremamente danosa. Provoca envelhecimento e outros males à pele. Seu comprimento de onda está abaixo de 380nm. O LED azul fica entre 450nm e 500nm, portanto não há componentes de comprimento de onda na faixa UV.

Alto Índice de reprodução de Cor

Para os LEDs brancos, com temperatura de cor de 3.000 K, o índice está entre 85 a 90%. Já nos LEDs brancos, com temperatura de cor em torno de 5.000 K, o índice é de 70%. Infelizmente, o fluxo luminoso nos LEDs de 3.000 K é menor que nos de 5.000 K, devido à maior perda introduzida pela camada de fósforo amarelo.

Disponibilidade de Temperatura de Cor

O LED disponibiliza temperatura de cor de 2.700 K até 6.500 K, o que é excelente, pois abrange todas as opções. Somos capazes de perceber até 50 K de variação de temperatura de cor. A norma de cromaticidade ANSI C78.377A de 2008 abrange apenas parte do que é necessário para garantir a consistência de cor. Podemos ver na Figura 33 a variação permitida pela norma.

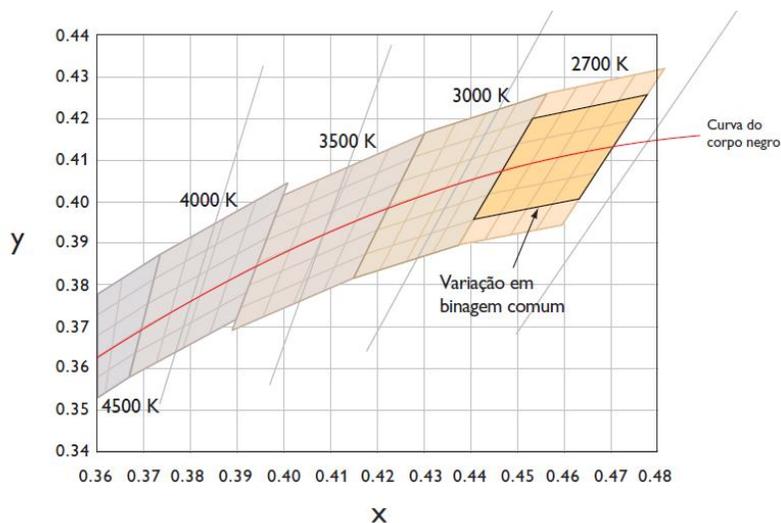


Figura 33 - Mostra exemplo de plano de classificação de LEDs de luz branca de 2.700 K do fabricante [13].

Embora todas as 16 classificações que o fabricante oferece estejam em conformidade com a norma ANSI C78.377A, para uma Temperatura de Cor nominal de 2.700 K, haverá alguma variação entre elas.

Alguns fabricantes de iluminação com LED estão adotando padrões para a compra e uso de LEDs, que vão além dessa norma, dando maior uniformidade à iluminação.

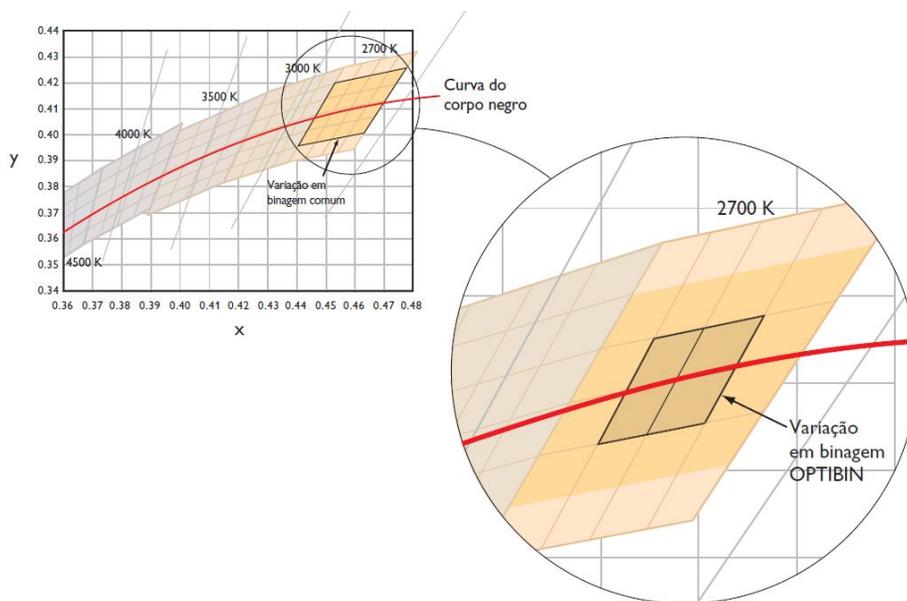


Figura 34 - Classificações com a maior proximidade possível da curva do corpo negro, de quatro estágios [13].

O Optibin é uma tecnologia da Philips Color Kinetics que emprega algoritmos para garantir a consistência da cor entre as luminárias, bem como entre as séries produzidas.

Assegurar a consistência da cor com o passar do tempo é de especial importância no caso de instalações parciais (em que as luminárias são compradas e instaladas em momentos diferentes), ampliações, instalações em vários locais e nas situações em que luminárias estão substituindo um aparelho defeituoso, quando a cor deve ser correspondente [13].

Custo de Manutenção Reduzido

Sua vida útil é elevada, permitindo menores custos de reposição, mão de obra, paradas não programadas no serviço, etc. Porém o custo de implantação ainda é considerado alto e nem todo projeto consegue ter o retorno do investimento apenas com a ausência de manutenção.

Aspectos Ecológicos

Não se utilizam mercúrio, chumbo e outros materiais considerados como potencialmente danosos ao meio ambiente. Infelizmente, o processo de fabricação de LEDs ainda utiliza grandes quantidades de energia para a produção dos semicondutores, fato que é parcialmente compensado pela alta quantidade de chips produzida em relação à energia aplicada ao processo. Outro fator determinante é o seu tamanho, que reduz o impacto do descarte do produto na natureza

São Componentes Pequenos

Permite o design de luminárias menores que as tradicionais. Na área comercial as vitrines e displays de demonstração devem aproveitar ao máximo o espaço útil, ocasionando uma aproximação entre as fontes de luz e os objetos a serem iluminados e quando isso ocorre,

uma luminária pequena, que não emite calor ou radiação ultravioleta frequentemente, é a melhor opção de projeto.

Pode ser usado em baixas temperaturas

Sua eficiência aumenta à medida que a temperatura cai, sendo ideal para ser usado em refrigeradores de supermercado.

Acionamento Instantâneo

Seu acionamento é instantâneo, contrário de lâmpadas, como fluorescente tubular que pode levar de 1 a 2 segundos para operar a 100%.

Ao contrário das lâmpadas fluorescentes, que têm um maior desgaste da sua vida útil no momento em que são ligadas, nos LEDs é possível o acendimento e apagamento rapidamente possibilitando o efeito “flash”, sem detrimento da vida útil.

Custos Elevados

Comparando o preço praticado pelos fabricantes de produtos tradicionais de iluminação a lâmpadas com tecnologia LED, estas são as mais caras. A pergunta a ser feita é: qual o benefício que o projeto de iluminação terá com a utilização de uma lâmpada LED? Caso o único valor percebido pelo cliente seja o custo inicial do produto, provavelmente a tecnologia de LED acabará não sendo utilizada. Por outro lado, em aplicações onde os benefícios listados anteriormente são relevantes, vale à pena utilizar LEDs.

9 Conclusões

O trabalho cumpriu seus objetivos, que eram de oferecer uma publicação com informações básicas de apoio aos interessados iniciantes na área de iluminação de interiores usando LED, complementando deficiências da leitura usual e atualizando o setor acadêmico de iluminação sobre a nova tendência de iluminação que é o LED.

Foram feitas comparações com outros tipos de lâmpadas (Incandescente, halógena dicróica, halógena PAR, Fluorescente compacta e fluorescente tubular), onde se conseguiu mostrar as vantagens econômicas da lâmpada LED, chegando a uma economia de 84 % no caso da lâmpada halógena PAR e de 61%, quando comparada a mais tradicional lâmpada – incandescente.

Estas comparações servem para indicar que está ocorrendo uma quebra de paradigma, iniciado pela popularização em curso das lâmpadas compactas e agora com a introdução do LED.

Os LEDs são apontados frequentemente como o futuro da iluminação e nisso discordamos totalmente, pois eles já são parte integrante do mercado e a tendência é de um crescimento maior nos próximos anos. Graças às suas características e benefícios, os LEDs não são apenas mais uma opção de fontes de luz no mercado. Eles trazem consigo novos conceitos, novas possibilidades de iluminar e uma mudança de paradigma diferente, que atinge não só as questões econômicas e energéticas, mas outros aspectos de iluminação não muito considerados na iluminação residencial. Todas as suas características como fonte de luz concorrem para auxiliar na solução dos principais desafios tecnológicos atuais: preservação do ambiente, conservação da energia, durabilidade, eficiência de aplicação, etc. Entretanto, mudar a cabeça do cidadão comum é um resultado difícil de ser alcançado, mas não

impossível. Foi assim com as compactas e hoje o senso comum já está sincronizado com todas as avaliações técnicas pertinentes. Da mesma forma, este novo paradigma irá se popularizar: preços cairão à medida que o uso for crescendo e ele se fará tão presente em nossas residências, como em nossas geladeiras e rádios. Antes disso, elas estarão iluminando as nossas ruas, praças, instituições públicas e lojas. O preço também se populariza fácil quando a tecnologia é forte e consolidada.

É esperado que este trabalho incentive o interesse das pessoas, não só pelo assunto iluminação de interiores, mas pela cultura do uso eficiente de energia e da conservação do meio ambiente, além de servir de multiplicador de conhecimento.

Este trabalho também serviu como aprendizado para o próprio autor, acrescentando conhecimento no tema estudado e experiências na realização de trabalhos de projeto final, possibilitando o aprendizado sobre como se estrutura um projeto, desde a escolha do tema até o desfecho. Estudos mais completos poderão ser produzidos usando este material como guia ou ponto de partida, pois esse assunto só recentemente passou a ser estudado com mais profundidade.

Referências Bibliográficas

- [1] Roland Haitz & Lumileds, **Lei de Haitz**, disponível em: <http://www.josedornelas.com.br/wp-content/uploads/2008/02/Casos_15.pdf> Acesso em: 01 fev. 2011
- [2] SOUZA, J. V. F. História da Iluminação. 2004. 12f. Dissertação (Pós-Graduação em Iluminação e Design de Interiores) - Universidade Castelo Branco
- [3] COSTA, Gilberto José Correa da. **Iluminação Econômica**. 3. ed, EDPUCRS, 2005.
- [4] Wikipédia, **Light Emitting Diode**, disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode> Acesso em 12 dez. 2010
- [5] Boylestad, R. L.; Nashelsky L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, ed. 8, Editora Prentice Hall
- [6] AMERICAN GENERAL, Catalogo **2010**, disponível em: <<http://www.americangeneral.com.br/catalogo2010/>> Acesso em 12 dez. 2010
- [7] Smart Grid, **GE elege o país para sediar fabricas de lâmpadas LEDs**, disponível em: <<http://www.redeinteligente.com/2010/08/13/ge-elege-o-pais-para-sediar-fabrica-de-lampadas-led/>> Acesso em 20 jan. 2011
- [8] GEEK, **Empresas anunciam lâmpadas com Leds, mais econômicas, para substituir as incandescentes**, disponível em: <<http://www.geek.com.br/posts/13007-empresas-anunciam-lampadas-com-leds-mais-economicas-para-substituir-as-incandescentes>> Acesso em: 20 jan. 2011
- [9] UniLED, **Iluminação Comercial com LED**, disponível em: <<http://www.uniled.com.br/index.php/component/content/article/1-novos-artigos-led/26-iluminacao-de-loja-a-led.html>> Acesso em 03 fev. 2011

- [10] EMPALUX, **Produtos**, disponível em: < <http://www.empalux.com.br/prod1.html#5> >
Acesso em: 01 fev. 2011
- [11] CREDER, H. Instalações Elétricas. 14. ed. Rio de Janeiro,2000.
- [12] OSRAM, **Manual do Curso Iluminação**, disponível em:
<http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26_Catlogos/_pdf/Arquivos/Iluminao_Geral/Manual_do_Curso_Iluminacao%2c_Conceitos_e_Projetos/AF_apostila_conceitos_e_projetos_SITE.pdf> Acesso em: 22 nov. 2010.
- [13] Optibins, Visão geral da tecnologia, cores consistentes para LEDs coloridos e brancos.
<Rodrigo.Sobral@philips.com> contato em: 02 fev. 2011
- [14] Wikipédia, **CIE 1931 color space**, disponível em: < http://en.wikipedia.org/wiki/Tristimulus#Tristimulus_values > Acesso em 17 fev. 2011
- [15] Formidia, **Philips e CERTI firmam parceria para produção de nova tecnologia em iluminação no Brasil** , disponível em: <<http://formidia.com.br/2010/11/26/philips-e-certifirmam-parceria-para-producao-de-nova-tecnologia-em-iluminacao-no-brasil/> > Acesso em: 31 jan. 2011
- [16] Revista O Setor Elétrico, **Brasil terá produção de OLEDs** – São Paulo: Atitude Editorial. Novembro de 2010, edição 58, p 8-10
- [17] NBR 5413, **Iluminação de interiores**, 1991.
- [18] Wikipédia, **Retina**, disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Retina>> Acesso em 12 dez. 2010
- [19] MOREIRA, Vinicius de Araujo. Iluminação Elétrica. 1. ed. EDGARD BLUCHER, 1999.

- [20] Comissão Europeia, **Como ler a embalagem**, disponível em: <
<http://www.acis.org.pt/ficheiros/circular-131-2010.pdf> > Acesso em: 03 fev. 2011
- [21] RODRIGUES, C. R. B.S. Um estudo Comparativo de Iluminação Pública: Estado sólido e Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão. 2010. 6f. Disponível em:<
<http://www.google.com.br/url?q=http://www.labplan.ufsc.br/congressos/Induscon%25202010/fscommand/web/docs/I0258.pdf&sa=U&ei=de1STcSQK8G1tgegg5nCCQ&ved=0CA8QFjAB&usg=AFQjCNGbvcJktL4WOUJhJyQ0giU1G5WnNw>> acesso 09 fev. 2011
- [22] LEMNIS, **Produtos**, disponível em:< <http://www.pharox-led.com/cms/products>> Acesso em: 28 jan. 2011
- [23] Light, Tarifação residencial, disponível em: <
<http://www.light.com.br/web/institucional/atendimento/informacoes/tarifas/tetarifas.asp?mid=86879429722772272287226> >Acesso em:10 fev. 2011
- [24] NBR 5461, **Iluminação**, 1991.
- [25] Nanotecnologia, **História Cronológica da Nanotecnologia**, disponível em:
<http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/historia_nanotecnologia.htm> Acesso em: 28 nov. 2010
- [26] Revista O Setor Elétrico, **Brasil terá produção de OLEDs** – São Paulo: Atitude Editorial. Outubro de 2010, edição 58, p 16
- [27] SYLVANIA, **Catálogos**, disponível em: <
<http://www.sylvania.com.br/novosite/catalogos.aspx> > Acesso em 20 jan. 2011
- [28] VALOR, **GE prepara lançamento de nova lâmpada LED no Brasil em 2011**, disponível em: < <http://www.valoronline.com.br/online/energia/54/316552/ge-prepara-lancamento-de-nova-lampada-led-no-brasil-em-2011> > Acesso em 20 jan. 2011
- [29] LLUM, Catálogo Virtual, disponível em:<
<http://www.llumbrasil.com.br/catalogovirtual.html> > Acesso em 01 mar. 2011

APÊNDICE A

Conceitos Básicos

Fluxo luminoso

Fluxo luminoso (ϕ) é a “grandeza característica de um fluxo energético, exprimindo sua aptidão de produzir uma sensação no ser humano através dos estímulos da retina ocular, avaliada segundo os valores da eficácia luminosa relativa admitida pela Comissão Internacional CIE” sua unidade é o lúmen (lm) [17].

Fluxo luminoso representa uma potência luminosa emitida, ou ainda, representa a energia emitida por um segundo, em todas as direções, sob a forma de luz.

O lúmen (lm) é definido como “fluxo luminoso emitido no interior de um ângulo sólido igual a um esterradiano, por uma fonte luminosa puntiforme de intensidade invariável e igual a uma candela, de mesmo valor em todas as direções.

Intensidade luminosa

A definição de intensidade luminosa (I) é a relação entre o fluxo elementar $d\Phi$ e o respectivo ângulo sólido $d\omega$ na direção α do eixo do feixe luminoso. Portanto, é o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto. Sua unidade é a candela (cd), definida como sendo a intensidade luminosa, numa direção dada, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e cuja intensidade energética, naquela direção, é $\frac{1}{638}$ watts por esterradiano [3].

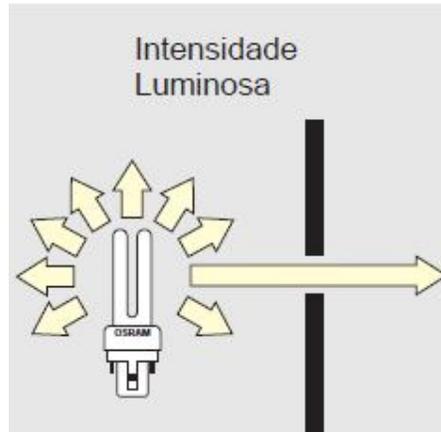


Figura 35 - Intensidade Luminosa

Vida Média

Vida média é o número de horas em que 50% das lâmpadas ensaiadas sob condições controladas em laboratório permanecem acesas. Esta vida não é necessariamente a vida em serviço, já que flutuações de tensão e outras influências ambientais podem resultar em um encurtamento da vida média [6].

Temperatura de Cor Correlata

A temperatura de cor é uma correlação entre a cor da luz com a temperatura do radiador integral de Planck quando emite aquela cor.

A radiação térmica emitida por um corpo negro não é visível, pois a energia está concentrada na região do infravermelho do espectro eletromagnético. Quando o corpo negro é aquecido a quantidade de energia irradiada aumenta com a quarta potência da temperatura e a concentração de energia se desloca para os comprimentos de ondas menores que o infravermelho.

Illuminância

Illuminância é a densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual. Por definição Illuminância é o limite da razão 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. Em termos mais simples é o fluxo luminoso incidente numa superfície por unidade de área [3].

A Illuminância é medida em Lux [lx]. A unidade é definida como o iluminamento de uma superfície plana, de área igual a um metro quadrado, sob o fluxo luminoso de um lúmen.

Exitância Luminosa

A Exitância luminosa está ligada com a superfície emissora da fonte luminosa. É a densidade de fluxo luminoso EMITIDA por uma superfície. A unidade da Exitância Luminosa é o lúmen por metro quadrado $M[lm/m^2]$ [3].

Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa é medida em lumens por watt η [lm/W]; é a relação de lumens emitidos pela lâmpada para cada watt consumido [11].

Fator de Potência

Fator de potência é uma variável elétrica que mede o quanto um componente ou circuito se difere do comportamento de um resistor. Quando isso ocorre, o circuito consome potência reativa, que não realiza uma ação e não é cobrada do usuário residencial, mas sobrecarrega as linhas de transmissão e geradores limitando a quantidade de potência ativa

.que pode ser transmitida pela rede. Quanto menor o fator de potência, maior é a quantidade de potência reativa.

Funcionamento da Lâmpada Fluorescente Tubular

Quando os filamentos da lâmpada são aquecidos inicia-se a descarga entre os contatos do starter. Com essa descarga, o elemento bimetálico é aquecido e, em razão da diferença dos coeficientes de dilatação, o metal com coeficiente de dilatação maior se curva e fecha o contato. Depois de fechado, cessa a descarga, o que provoca rápido resfriamento. Esse resfriamento faz com que os contatos se abram e essa abertura interrompe a corrente no reator que assim produz uma sobretensão entre suas extremidades. Esta sobretensão faz romper um arco elétrico entre os filamentos e o circuito se fecha não mais pelo starter, e sim pelo interior da lâmpada. Ao se deslocar de um filamento a outro, os elétrons se chocam com átomos do vapor de mercúrio e esse choque provoca a liberação de energia luminosa não visível (radiação ultravioleta). Essa radiação se transmite em todas as direções e, em contato com a pintura fluorescente do tubo, produz radiação luminosa visível [11].

MEMÓRIA DE CÁLCULO

Neste anexo encontram-se os cálculos referentes às conclusões apresentadas no Capítulo 7. Estes exemplos são apenas comparativos não levando em considerações fatores de perda, fatores de utilização, custo de luminárias etc.

Feitas as considerações veremos a seguir a memória de cálculo.

Calcular a equivalência entre as lâmpadas:

$$MMC(240, 516) = 10.320$$

Este valor é a quantidade de lumens que cada lâmpada deve fornecer, desta forma o número de lâmpadas necessárias é:

$$N^{\circ}_{\text{Lâmpadas_LED}} = \frac{10.320}{240} = 43$$

$$N^{\circ}_{\text{Lâmpadas_incandescente}} = \frac{10.320}{516} = 20$$

O tempo de uso é calculado:

$$MMC(750, 25.000) = 75.000$$

Podemos agora calcular a quantidade de vezes que cada lâmpada vai precisar ser substituída:

$$N^{\circ}_{\text{de_Re_posições_lâmpadas_LED}} = \frac{75.000}{25.000} - 1 = 2$$

$$N^{\circ}_{\text{de_Re_posições_lâmpadas_incandescente}} = \frac{75.000}{750} - 1 = 99$$

O custo de instalação é:

$$Custo_{\text{de_instalação_lâmpadas_LED}} = 43 \times 36,00 = R\$1.548$$

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_incandescente} = 20 \times 2,00 = R\$40$$

Custo de reposição das lâmpadas:

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_LED} = 43 \times 36,00 \cdot 2 = R\$3.096$$

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_incandescente} = 20 \times 2,00 \times 99 = R\$3.960$$

Gastos com o consumo durante o tempo de uso:

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_LED} = \frac{5 \times 43 \times 75.000 \times 0,418}{1.000} = R\$6.740$$

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_incandescente} = \frac{40 \times 20 \times 75.000 \times 0,418}{1.000} = R\$25.080$$

Total dos gastos durante todo o tempo de uso:

$$Total_{Lâmpada_LED} = 1.548 + 3.096 + 6.740 = R\$11.384$$

$$Total_{Lâmpada_Incandescente} = 40 + 3.960 + 25.080 = R\$29.080$$

O confronto resultou em vitória da Led PharoX 200 Flame da Lemnis, com economia de 61% em cima das incandescentes.

$$Economia = \left(1 - \frac{11.384}{29.080}\right) \cdot 100\% = 61\%$$

B1-Lâmpada Incandescente da Empalux versus a Lâmpada LED da Lemnis

Dados relevantes para o cálculo

Tabela 28 - Dados técnicos das lâmpadas incandescente e LED Pharox 200 flame.

DADOS TÉCNICOS	INCANDESCENTE	LED Pharox 200 Flame
Fluxo Luminoso (lm)	516	240
Potência(W)	40	5
Tempo de vida média(h)	750	25.000
Custo unitário (R\$)	2,00	36,00

Calcular a equivalência entre as lâmpadas:

$$MMC(240, 516) = 10.320$$

Este valor é a quantidade de lumens que cada lâmpada deve fornecer, desta forma o número de lâmpadas necessárias é:

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_LED} = \frac{10.320}{240} = 43$$

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_incandescente} = \frac{10.320}{516} = 20$$

O tempo de uso é calculado:

$$MMC(750, 25.000) = 75.000$$

Podemos agora calcular a quantidade de vezes que cada lâmpada vai precisar ser substituída:

$$N^{\circ}_{de_Re_posições_lâmpadas_LED} = \frac{75.000}{25.000} - 1 = 2$$

$$N^{\circ}_{de_Re_posições_lâmpadas_incandescente} = \frac{75.000}{750} - 1 = 99$$

O custo de instalação é:

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_LED} = 43 \times 36,00 = R\$1.548$$

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_incandescente} = 20 \times 2,00 = R\$40$$

Custo de reposição das lâmpadas:

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_LED} = 43 \times 36,00 \cdot 2 = R\$3.096$$

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_incandescente} = 20 \times 2,00 \times 99 = R\$3.960$$

Gastos com o consumo durante o tempo de uso:

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_LED} = \frac{5 \times 43 \times 75.000 \times 0,418}{1.000} = R\$6.740$$

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_incandescente} = \frac{40 \times 20 \times 75.000 \times 0,418}{1.000} = R\$25.080$$

Total dos gastos durante todo o tempo de uso:

$$Total_{Lâmpada_LED} = 1.548 + 3.096 + 6.740 = R\$11.384$$

$$Total_{Lâmpada_Incandescente} = 40 + 3.960 + 25.080 = R\$29.080$$

O confronto resultou em vitória da Led PharoX 200 Flame da Lemnis, com economia de 61% em cima das incandescentes.

$$Economia = \left(1 - \frac{11.384}{29.080}\right) \cdot 100\% = 61\%$$

B2-Lâmpada Halógena da American General versus a Lâmpada LED da Lemnis

Tabela 29 - Dados técnicos das lâmpadas halógena e LED Pharox 200 flame

DADOS TÉCNICOS	Halógena	LED Pharox 200 Flame
Fluxo Luminoso (lm)	1020	240
Potência(W)	42	5
Tempo de vida média(h)	2.000	25.000
Custo unitário (R\$)	10,00	36,00

Calcular a equivalência entre as lâmpadas:

$$MMC(1020, 240) = 4.080$$

Este valor é a quantidade de lumens que cada lâmpada deve fornecer, desta forma o número de lâmpadas necessárias é:

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_LED} = \frac{4.080}{240} = 17$$

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_halógena} = \frac{4.080}{1.020} = 4$$

O tempo de uso é calculado:

$$MMC(2.000, 25.000) = 50.000$$

Podemos agora calcular a quantidade de vezes que cada lâmpada vai precisar ser substituída:

$$N^{\circ}_{de_Re_posições_lâmpadas_LED} = \frac{50.000}{25.000} - 1 = 1$$

$$N^{\circ}_{de_Re_posições_lâmpadas_halógena} = \frac{50.000}{2.000} - 1 = 24$$

O custo de instalação é:

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_LED} = 17 \times 36,00 = R\$612$$

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_halógena} = 4 \times 10,00 = R\$40$$

Custo de reposição das lâmpadas:

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_LED} = 17 \times 36,00 \cdot 1 = R\$612$$

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_halógena} = 4 \times 10,00 \times 24 = R\$960$$

Gastos com o consumo durante o tempo de uso:

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_LED} = \frac{5 \times 17 \times 50.000 \times 0,418}{1.000} = R\$1.776$$

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_halógena} = \frac{42 \times 4 \times 50.000 \times 0,418}{1.000} = R\$3.511$$

Total dos gastos durante todo o tempo de uso:

$$Total_{Lâmpada_LED} = 612 + 612 + 1.776 = R\$3.000$$

$$Total_{Lâmpada_halógena} = 40 + 960 + 3.511 = R\$4.511$$

$$Economia = \left(1 - \frac{3.000}{4.511}\right) \cdot 100\% = 33.3\%$$

Economia de 33.3% em cima das incandescentes.

B3-Lâmpada LED PAR 20 da LEDMAX versus a Lâmpada Halógena PAR 20 da OSRAM

Dados relevantes para o cálculo

Tabela 30 - Dados técnicos das lâmpadas halógena PAR 20 e LED PAR 20.

DADOS TÉCNICOS	Halógena PAR 20	LED PAR 20
Fluxo Luminoso (lm)	268	260
Potência(W)	50	4
Tempo de vida média(h)	2.000	25.000
Custo unitário (R\$)	14,00	72,00

Para essa comparação os fluxos luminosos das lâmpadas estão bem próximos. Esses valores da halógena PAR foram aproximados para um fluxo de 260 lm assim as lâmpadas ficaram equivalentes.

Este valor é a quantidade de lumens que cada lâmpada deve fornecer, desta forma o número de lâmpadas necessárias é:

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_LED} = 1$$

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_halógena_PAR} = 1$$

O tempo de uso é calculado:

$$MMC(2.000, 25.000) = 50.000$$

Podemos agora calcular a quantidade de vezes que cada lâmpada vai precisar ser substituída:

$$N^{\circ}_{de_Re_posições_lâmpadas_LED} = \frac{50.000}{25.000} - 1 = 1$$

$$N^{\circ}_{de_Re_posições_lâmpadas_halógena_PAR} = \frac{50.000}{2.000} - 1 = 24$$

O custo de instalação é:

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_LED} = R\$72$$

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_halógena_PAR} = R\$14$$

Custo de reposição das lâmpadas:

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_LED} = 1 \times 72,00 \times 1 = R\$72$$

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_halógena_PAR} = 1 \times 14,00 \times 24 = R\$336$$

Gastos com o consumo durante o tempo de uso:

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_LED} = \frac{4 \times 1 \times 50.000 \times 0,418}{1.000} = R\$83$$

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_halógena_PAR} = \frac{50 \times 1 \times 50.000 \times 0,418}{1.000} = R\$1.045$$

Total dos gastos durante todo o tempo de uso:

$$Total_{Lâmpada_LED} = 72 + 72 + 83 = R\$227$$

$$Total_{Lâmpada_halógena_PAR} = 14 + 336 + 1.045 = R\$1.395$$

$$Economia = \left(1 - \frac{227}{1.395}\right) \cdot 100\% = 84\%$$

Economia de 84% em cima das incandescentes.

B4-Lâmpada Fluorescente Compacta da OSRAM versus a Lâmpada LED da Lemnis

Dados relevantes para o cálculo

Tabela 31 - Dados técnicos das lâmpadas fluorescente compacta e LED PharoX 300.

DADOS TÉCNICOS	Fluorescente Compacta	LED PharoX 300
Fluxo Luminoso (lm)	600	360
Potência(W)	11	6
Tempo de vida média(h)	3.000	35.000
Custo unitário (R\$)	9,00	54,00

Calcular a equivalência entre as lâmpadas:

$$MMC(600, 360) = 1.800$$

Este valor é a quantidade de lumens que cada lâmpada deve fornecer, desta forma o número de lâmpadas necessárias é:

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_LED} = \frac{1.800}{360} = 5$$

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_fluorescente_compacta} = \frac{1.800}{600} = 3$$

O tempo de uso é calculado:

$$MMC(3.000, 35.000) = 105.000$$

Podemos agora calcular a quantidade de vezes que cada lâmpada vai precisar ser substituída:

$$N^{\circ}_{de_Reposições_lâmpadas_LED} = \frac{105.000}{35.000} - 1 = 2$$

$$N^{\circ}_{de_Reposições_fluorescente_compacta} = \frac{105.000}{3.000} - 1 = 34$$

O custo de instalação é:

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_LED} = 5 \times 54,00 = R\$270$$

$$Custo_{de_instalação_fluorescente_compacta} = 3 \times 9,00 = R\$27$$

Custo de reposição das lâmpadas:

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_LED} = 5 \times 54,00 \times 2 = R\$540$$

$$Custo_{de_reposição_fluorescente_compacta} = 3 \times 9,00 \times 34 = R\$918$$

Gastos com o consumo durante o tempo de uso:

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_LED} = \frac{6 \times 5 \times 105.000 \times 0,418}{1.000} = R\$1.316$$

$$Custo_{do_consumo_fluorescente_compacta} = \frac{11 \times 3 \times 105.000 \times 0,418}{1.000} = R\$1.448$$

Total dos gastos durante todo o tempo de uso:

$$Total_{Lâmpada_LED} = 270 + 540 + 1.316 = R\$2.126$$

$$Total_{Lâmpada_fluorescente_compacta} = 27 + 918 + 1.448 = R\$2.393$$

$$Economia = \left(1 - \frac{2.126}{2.393}\right) \cdot 100\% = 11\%$$

Economia de 11% em cima da fluorescente compacta.

B5-Lâmpada Fluorescente tubular T8 da versus a Lâmpada LED T8 da AG

Dados relevantes para o cálculo

Tabela 32 - Dados técnicos das lâmpadas fluorescente tubular T8 e LED tubular T8.

DADOS TÉCNICOS	Fluorescente Tubular T8	LED Tubular T8
Fluxo Luminoso (lm)	1.050	660
Potência(W)	16+2(Reator)	8
Tempo de vida média(h)	8.000	30.000
Custo unitário (R\$)	5,00	110,00

Nota: O reator mais lâmpada de 16 W consomem 18 W está incluído nos cálculos de consumo. O reator tem vida útil de 60.000 horas. Preço R\$6,00. O seu custo esta incluído no preço de instalação e reposição.

Calcular a equivalência entre as lâmpadas:

$$MMC(1.050, 660) = 23.100$$

Este valor é a quantidade de lumens que cada lâmpada deve fornecer, desta forma o número de lâmpadas necessárias é:

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_LED} = \frac{23.100}{660} = 35$$

$$N^{\circ}_{Lâmpadas_fluorescente_compacta} = \frac{23.100}{1.050} = 22$$

$$N^{\circ}_{Reatores} = 22$$

O tempo de uso é calculado:

$$MMC(30.000, 8.000, 60.000) = 120.000$$

Podemos agora calcular a quantidade de vezes que cada lâmpada vai precisar ser substituída:

$$N^{\circ}_{de_Re_posições_lâmpadas_LED} = \frac{120.000}{30.000} - 1 = 3$$

$$N^{\circ}_{de_Re_posições_fluorescente_compacta} = \frac{120.000}{8.000} - 1 = 14$$

$$N^{\circ}_{de_Re_posições_dos_Reatores} = \frac{120.000}{60.000} - 1 = 1$$

O custo de instalação é:

$$Custo_{de_instalação_lâmpadas_LED} = 35 \times 110,00 = R\$3.850$$

$$Custo_{de_instalação_fluorescente_compacta} = 22 \times 5,00 = R\$110$$

$$Custo_{de_instalação_dos_Reatores} = 22 \times 6,00 = R\$132$$

Custo de reposição das lâmpadas:

$$Custo_{de_reposição_lâmpadas_LED} = 35 \times 110,00 \times 3 = R\$11.550$$

$$Custo_{de_reposição_fluorescente_compacta} = 22 \times 5,00 \times 14 = R\$1.540$$

$$Custo_{de_reposição_dos_Reatores} = 22 \times 6,00 \times 1 = R\$132$$

Gastos com o consumo durante o tempo de uso:

$$Custo_{do_consumo_lâmpadas_LED} = \frac{8 \times 35 \times 120.000 \times 0,418}{1.000} = R\$14.044$$

$$Custo_{do_consumo_fluorescente_compacta} = \frac{16 \times 22 \times 120.000 \times 0,418}{1.000} = R\$17.656$$

$$Custo_{do_consumo_dos_reatores} = \frac{2 \times 22 \times 120.000 \times 0,418}{1.000} = R\$2.207$$

Total dos gastos durante todo o tempo de uso:

$$Total_{Lâmpada_LED} = 3.850 + 11.550 + 14.044 = R\$29.444$$

$$Total_{Lâmpada_fluorescente_compacta} = 110 + 1.540 + 17.656 + 132 + 132 + 2.207 = R\$21.777$$

$$Economia = \left(1 - \frac{21.777}{29.444}\right) \cdot 100\% = 26\%$$

A fluorescente tubular faz economia de 26% em cima da LED tubular.