

**PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO –
ESTUDO DE CASO DA SOCIEDADE BENEFICENTE ISRAELITA
BRASILEIRA HOSPITAL ALBERT EINSTEIN**

Projeto apresentado para qualificação
do Trabalho de Conclusão de Curso.

Gustavo de Almeida dos Santos

São Paulo
2012

GUSTAVO DE ALMEIDA DOS SANTOS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO –
ESTUDO DE CASO DA SOCIEDADE BENEFICENTE ISRAELITA
BRASILEIRA HOSPITAL ALBERT EINSTEIN**

São Paulo
2012

GUSTAVO DE ALMEIDA DOS SANTOS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO –
ESTUDO DE CASO DA SOCIEDADE BENEFICENTE ISRAELITA
BRASILEIRA HOSPITAL ALBERT EINSTEIN**

Monografia apresentada como exigência para obtenção do Título de Especialista em Energia Renovável, Geração Distribuída e Eficiência Energética, no Programa de Pós-Graduação Lato sensu do Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni

São Paulo
2012

GUSTAVO DE ALMEIDA DOS SANTOS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO –
ESTUDO DE CASO DA SOCIEDADE BENEFICENTE ISRAELITA
BRASILEIRA HOSPITAL ALBERT EINSTEIN**

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira

Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni

Prof. Dr. Racine Tadeu Araujo Prado

São Paulo
2012

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos amores da minha vida, minha esposa e meus filhos, pela paciência e compreensão nos momentos em que não ficamos juntos nos finais de semanas em que me dediquei aos estudos e acabei os deixando de lado, mas sempre foram minha maior motivação para a realização desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por permitir me fazer prosseguir em mais uma jornada para o aprendizado. Agradeço em especial aos meus pais, sem eles não seria possível cumprir mais alguns passos deste meu caminho.

Agradeço aos amores da minha vida, minha esposa e meus filhos, pela paciência e compreensão nos momentos em que não ficamos juntos aos finais de semanas em que me dediquei aos estudos e acabei os deixando de lado, mas sempre foram minha maior motivação para a realização desse trabalho.

Agradeço, em especial, ao Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni, orientador, por ter aceitado o desafio de me orientar neste trabalho em sua reta final, e a minha amiga Bruna Sarti que teve uma colaboração especial para finalização deste trabalho.

A todos os professores, por transmitirem seus conhecimentos e habilidades para traçarmos o nosso dia a dia.

Agradeço a todos aqueles que durante esses anos fizeram parte da minha história, Marcio, César, Naraisa, Diana, Rafael e Irajá que contribuíram com a troca de informações, diálogos e amizade.

Muito obrigado a todos.

*“Temos o destino que merecemos.
O nosso destino está de acordo
com os nossos méritos”.*

(Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso com utilização de sistema de iluminação à LED de alta intensidade em um ambiente hospitalar, demonstrando seus ganhos energéticos e ambientais com a implantação. Também faz-se uma abordagem dos principais conceitos luminotécnicos e as características dos principais tipos de lâmpadas. A proposta visa à racionalização no uso da energia elétrica através de uma elevada eficácia luminosa e longa vida útil na substituição de sistemas de iluminação tradicionais como incandescentes, vapor metálico ou fluorescentes tubulares e compactas por LEDs, sem alteração nas instalações elétricas.

Palavras chave: LED; Eficiência Energética; Hospital.

ABSTRACT

This work presents a case study of using LED lighting to high intensity in a hospital environment, demonstrating their energy gains and environmental deployment. It is also a discussion of key concepts luminous and the characteristics of the main types of lamps. The proposal aims to make the use of electric energy through a high luminous efficacy and long life in the replacement of traditional lighting systems as incandescent, metal halide or fluorescent tubes and compact by LED, without changing the wiring.

Key-words: LED, Energy Efficiency; Hospital

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.0- Ilustração do átomo de Bohr.

Figura 2.0- Níveis de energia.

Figura 3.0- Argônio.

Figura 4.0- Exemplo de um material com condutor- cobre.

Figura 5.0- Silício e Germânio, exemplos de semicondutores.

Figura 6.0- Arranjo cristalino

Figura 7.0- Semicondutor tipo N, dopado com fósforo.

Figura 8.0- Semicondutor tipo P, dopado com alumínio.

Figura 9.0 – Lacuna.

Figura 10 - Elétrons livres.

Figura 11- Junção PN.

Figura 12- Condução de energia num diodo.

Figura 13- Barreira de energia num diodo.

Figura 14 - Região de ruptura.

Figura 15 - LED indicador

Figura 16- Curva de evolução de iluminação artificial

Figura 17- Categorias de LED's

Figura 18: Espectro Eletromagnético

Figura 19: Curva de sensibilidade do olho humano à radiação visível

Figura 20- Composição das cores da luz. Fonte

Figura 21: Modo de produção da luz no LED

Figura 22 – Espectro de radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda

Figura 23 – Diferentes modelos de LEDs e seus respectivos comprimento de onda

Figura 24: Temperatura de cor de diferentes fontes de luz

Figura 25- Valores típicos de eficiência de fontes de luz

Figura 26- Espectro da luz branca a partir dos LEDs vermelho, verde e azul

Figura 27- Espectro da luz branca a partir do LED azul + fósforo

Figura 28- Espectro da luz branca a partir do LED UV + fósforo

Figura 29- Lâmpada incandescente patenteada por Thomas Alva Edison em 1881

Figura 30 - Mecanismo de funcionamento de lâmpadas fluorescentes tubulares

Figura 31- Lâmpadas fluorescentes compactas

Figura 32- Túnel Jânio Quadros na cidade de São Paulo

Figura 33- Túnel Nove de Julho na cidade de São Paulo

Figura 34- Mecanismo de funcionamento de uma lâmpada a vapor de mercúrio

Figura 35- Mecanismo de funcionamento de lâmpada a vapor de sódio

Figura 36- Mecanismo de funcionamento de lâmpada a vapor de sódio de retrofit

Figura 37- Mecanismo de funcionamento de lâmpada a vapor metálico com tubo cerâmico

Figura 38- Lâmpada a vapor de sódio

Figura 39: Pavilhão Vicky e Joseph Safra LEED Gold

Figura 41: Passarelas de interligação

Figura 42- Corte dos edifícios do complexo hospitalar do Morumbi.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Economias anuais obtidas Hospital Albert Einstein

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Área com iluminação LED

Gráfico 2- Economia equivalente anual acumulada ao longo dos meses de implementação da iluminação LED

LISTA DE SIMBOLOS E MEDIDAS

[lm]	Lumens
[W]	Watts
[nm]	Nanômetros
[kW]	Kilo Watts
MWh	Mega Watt Hora
GMWh	Giga Watt Hora
[n]	Quantidade de lâmpadas
[Pt]	Potência consumida pelo conjunto lâmpadas e acessórios
[K]	Kelvin
[lm/W]	Lumens por watt- Eficiência energética da luminária
[°C]	Graus Celsius
[V]	Volt
[m²]	Metro quadrado
[m]	Metro
[Ø]	Fluxo Luminoso
[cd]	Candela
[N/m²]	Nilton por metro quadrado
[I]	Intensidade Luminosa
[S]	Área da superfície iluminada [m²]
[E]	Iluminância
[lux]	Unidade de Iluminância
[L]	Luminância
[cd/m²]	Unidade de Luminância
[α]	Ângulo considerado [graus]

$[\rho]$	Coeficiente de reflexão.
$[\eta]$	Eficiência Luminosa
$[P]$	Potencia consumida
$[\rho]$	Refletância
$[W/m^2]$	Watt por metro quadrado

LISTA DE SIGLAS

LED	Light Emitting Diode/ Diodo Emissor de Luz
RGB	Red, Green and Blue / Vermelho, Verde e Azul
UV	Ultra violeta
IRC	Índice de reprodução de cor
NBR	Normas Brasileira
AL	Aluminio
Cu	Cobre
OIDA	Optoelectronics Industry Development Association
HB-LED	High Brightness LED/ Led de alto brilho
OLED	Diodo Orgânico Emissor de Luz
LCD	Liquid crystal display/ Display de cristal líquido
GaAs	Arseneto de gálio
GaP	Fosfeto de gálio
Ga	Gálio
As	Arsênico
In	Índio
P	Fósforo
Al	Alumínio
N	Nitrogênio
E-27	Modelo de bocal padrão de lâmpada
JCI	Joint Commission International
HIAE	Hospital Israelita Albert Einstein
SBIBAE	Sociedade Beneficente Israelita Brasileira Albert Einstein
GBCI	Green Building Certification Institute

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO	3
1.1. Objetivos	4
1.1.1. Objetivos Gerais.....	4
1.1.2. Objetivos Específicos.....	4
1.2. Materiais e Métodos.....	4
1.3. Justificativa.....	5
1.4. Estrutura	5
2. TECNOLOGIA LED	7
2.1. Teoria de um diodo emissor de luz (LED)	7
2.1.1. Conceitos básicos.....	7
2.1.2. Semicondutores.....	9
2.1.3. Cristais.....	10
2.1.4. Semicondutor tipo N.....	11
2.1.5. Semicondutor tipo P	11
2.1.6. O cristal tipo P e N	11
2.1.7. A junção PN	12
2.1.8. A barreira de potencial	12
2.1.9. Polarização reversa da Junção PN	13
2.1.10. A região de ruptura.....	13
2.2. Contexto Histórico e Evolução	14
2.3. Aplicações dos LEDs.....	15
2.4. Classificação dos LEDs.....	16
3. FUNDAMENTOS LUMINOTÉCNICOS.....	17
3.1. Conceitos luminotécnicos	17
3.1.1. A radiação solar e a luz	17
3.1.2. Fluxo Luminoso (Φ).....	18
3.1.3. Intensidade luminosa (I)	19
3.1.4. Iluminância (E).....	19
3.1.5. Luminância (L)	20
3.1.6. Eficiência Luminosa (η)	21
3.1.7. Refletância (ρ)	22

3.1.8. Luz e Cores	23
3.1.9. Potência Total Instalada (ou Fluxo Energético)	23
3.2. Processos de emissão de luz do LED	24
3.3. Espectros de radiação e cores do LED	25
3.4. Temperaturas de cor	27
3.5. Intensidades luminosas do LED	28
3.6. Obtenções da luz branca	29
4. COMPARATIVO ENTRE AS TECNOLOGIAS	32
4.1. Principais tipos de lâmpadas	32
4.1.1. Incandescente	32
4.1.2. Halógena	33
4.1.3. Fluorescente	34
4.1.4. Vapor de mercúrio sob alta pressão	38
4.1.5. Mista	39
4.1.6. Vapor de sódio	40
4.1.7. Multivapores metálicos	42
4.2. Iluminação com lâmpadas fluorescentes e incandescentes	43
4.3. Iluminação empregando LEDs	44
5. ESTUDO DE CASO	47
5.1. Apresentação do Hospital Israelita Albert Einstein	47
5.2. Sustentabilidade Einstein	48
5.3. Estudo de um ambiente hospitalar	49
5.4. Correlação entre os dados encontrados e a NBR 5413	53
5.5. Demonstrativo de viabilidade técnica e econômica	54
5.6. Metodologia de cálculo analítico	56
6. CONCLUSÕES	57
6.1. Eficiência energética	57
6.2. Aspectos Ambientais	58
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1. INTRODUÇÃO

Em trabalhos analisados como base para elaboração deste, observou – se que em vários estudos feitos anteriormente mencionavam os benefícios do sistema a LED principalmente para trabalhos de iluminação publica, porém quando se fala em interiores os custos elevados inviabilizavam os estudos.

Do ponto de vista estudado até o momento observa-se que o mercado de fornecedores de equipamento tem crescido a cada dia, e a qualidade nem sempre na mesma proporção. Hoje o custo de uma lâmpada com tecnologia a LED pode variar até dez vezes ou mais em relação a um LED de baixa qualidade.

O presente trabalho faz um estudo sobre a iluminação em ambientes internos especiais, aqui sendo tratado uma área hospitalar, descrevendo os principais tipos de lâmpadas utilizadas e a correlação destas em relação à tecnologia à LED.

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho baseia-se na verificação de que muitos ambientes internos possuem nível de iluminância em desacordo com a norma, por se tratar de um projeto onde os projetistas responsáveis pela realização expressam suas idéias e impõem seus conceitos sem levar em consideração a eficiência energética, julgando-se aptos e especialistas em executá-los.

A proposta visa à racionalização no uso da energia elétrica através de uma elevada eficácia luminosa e longa vida útil na substituição de sistemas de iluminação tradicionais como incandescentes, vapor metálico ou fluorescentes tubulares e compactas por LEDs, sem alteração nas instalações elétricas.

Segundo a NBR 5413, uma iluminância adequada depende da utilização de cada recinto, as características de cada tarefa a ser executada e do observador. Além disso, um bom projeto luminotécnico depende da escolha apropriada dos aparelhos de iluminação, da cor da luz e seu rendimento e das características de execução do teto, piso e parede dos recintos e o aproveitamento e valorização da luz natural onde se faz possível.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo demonstrar a tecnologia LED (Light Emitting Diode) no sistema de iluminação hospitalar, analisar o potencial de redução energética no sistema, atendendo as normas vigentes e melhorando o conforto dos usuários além de eliminar os impactos ambientais com o descarte de lâmpadas.

Demonstrar um Case de Eficiência Energética em um ambiente hospitalar, apresentando os benefícios energéticos resultados pela tecnologia de iluminação à LED.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Explanar acerca da tecnologia LED, bem como sua história, evolução e aplicação;
- Explanar acerca de conceitos luminotécnicos, apresentando fundamentos e teorias;
- Comparar a tecnologia LED a outras tecnologias de iluminação, apresentando suas vantagens e desvantagens;
- Dissertar sobre a iluminação no setor hospitalar;
- Apresentar os ganhos energéticos obtidos através da instalação de iluminação à LED, por meio do estudo de caso.

1.2. Materiais e Métodos

A metodologia da pesquisa orientou-se na pesquisa bibliográfica exploratória, com base nos pressupostos teóricos dos autores acerca do tema, de forma descritiva.

O estudo de caso foi elaborado de acordo com trabalhos realizados efetivamente no Hospital Israelita Albert Einstein pela equipe de Engenharia de Projetos.

1.3. Justificativa

A implantação de iluminação à LED proporciona ganhos em eficiência e conforto, financeiros devido a utilização de menos recursos para iluminar o mesmo ambiente e o mais importante que é o ganho ambiental ao qual elimina-se a utilização de mercúrio principalmente nas lâmpadas fluorescentes.

Apesar da economia de energia gerada pelas lâmpadas fluorescentes em relação às incandescentes, o fato ao qual é de grande destaque e precisa ser eliminada por tecnologias mais eficientes e que não agredam a natureza é o volume médio de mercúrio presente em uma lâmpada fluorescente que é de 10 mg, ou seja, se por um lado reduz-se o consumo dos recursos naturais por outro tende-se a contaminar mais devido ao descarte muitas vezes irregular.

As lâmpadas ou conjunto de lâmpadas e luminárias a LED são mais eficientes, possuem vida útil superior às demais lâmpadas e são quase que totalmente recicláveis, não possuem mercúrio em sua composição e consomem menos energia.

Diante destas considerações a justificativa para este estudo de caso é demonstrar que é possível ter uma iluminação eficiente para os ambientes hospitalares empregando a tecnologia à LED, alinhado a uma economia de energia e possibilitando a expansão utilizando menos recurso, ou seja, fazer o mesmo de forma cada vez mais eficiente e explorando as novas tecnologias a fim de alcançar uma melhor gestão dos recursos naturais.

1.4. Estrutura

O primeiro capítulo apresenta a introdução a cerca do tema, objetivos gerais e específicos e a metodologia com que este trabalho foi embasado.

O segundo capítulo apresenta uma explanação sobre a tecnologia LED, bem como a teoria de um diodo emissor de luz, o contexto histórico sobre a evolução desta tecnologia, aplicações e classificações.

O terceiro capítulo apresenta fundamentos luminotécnicos, conceitos fundamentais na área luminotécnica para entendimento do processo de emissão de luz no LED e suas características.

O quarto capítulo apresenta o comparativo entre as tecnologias existentes no mercado e a tecnologia LED.

O quinto capítulo apresenta o estudo de caso, objeto deste trabalho, da tecnologia à LED aplicada no Hospital Israelita Albert Einstein.

O sexto capítulo apresenta as conclusões a cerca do tema e a demonstração dos benefícios reais obtidos no estudo de caso do quinto capítulo.

2. TECNOLOGIA LED

2.1. Teoria de um diodo emissor de luz (LED)

2.1.1. Conceitos básicos

2.1.1.1. Átomo

O átomo é menor parte da matéria que ainda conserva suas propriedades básicas. Pode-se definir matéria como qualquer coisa que ocupa lugar no espaço e tem massa, pode ser sólida, líquida ou gasosa. Os átomos de qualquer material existente no universo são constituídos basicamente pelas seguintes partículas:

- **Próton:** Localizado no núcleo do átomo e que possui uma carga elétrica positiva.
- **Nêutron:** Também localizado no núcleo, e que não possui carga elétrica.
- **Elétron:** Partícula que se move em torno do núcleo, e que possui carga elétrica negativa.

2.1.1.2. Propriedades do átomo

O átomo é eletricamente neutro, pois o número de elétrons presentes em suas órbitas é igual ao número de prótons presentes em seu núcleo.

2.1.1.3. Estrutura atômica

O conceito de átomo de Niels Bohr é um núcleo rodeado por elétrons em sua órbita (figura 1.0). Para tanto, Bohr fez as seguintes hipóteses:

- **Primeira:** Os elétrons podem ocupar apenas certas órbitas especiais ao redor do núcleo, chamadas órbitas estacionárias;
- **Segunda:** O equilíbrio dinâmico do átomo nos estados estacionários (isto é, quando os elétrons ocupam órbitas estacionárias) é governado pelas leis de Newton;
- **Terceira:** O átomo pode passar de um estado estacionário a outro por emissão ou absorção de radiação eletromagnética.

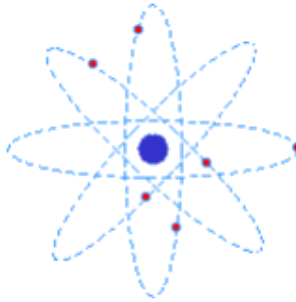


Figura 1.0- Ilustração do átomo de Bohr. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.1.4. Níveis de energia

Os elétrons giram em torno do núcleo descrevendo órbitas, ou camadas, cada camada possui um nível de energia (figura 2.0). As órbitas possuem um raio bem definido em relação ao núcleo, aceitando um número máximo de elétrons. A última camada é chamada camada de valência é a mais importante, pois é ela que define se um átomo é estável ou instável.

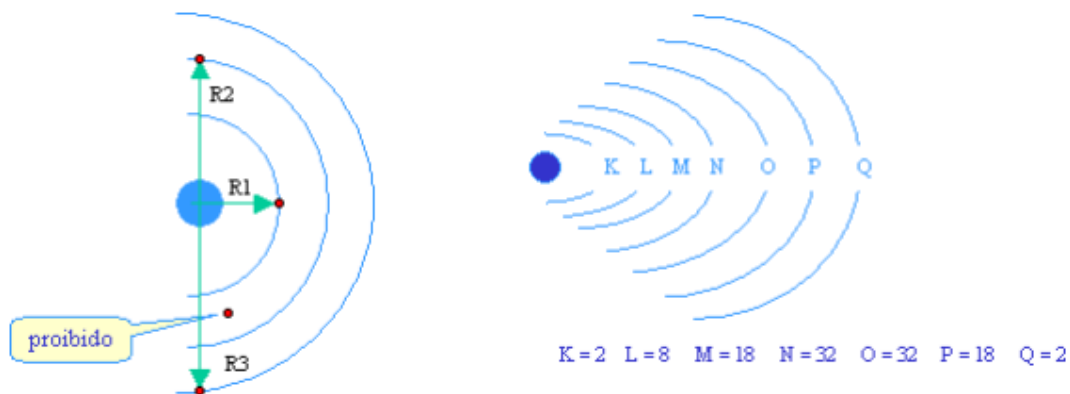


Figura 2.0- Níveis de energia. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.1.5. Classificação dos materiais

Quando um elétron é bombardeado com uma energia externa, haverá um acúmulo de energia e o mesmo desloca-se de uma órbita menor para uma órbita maior. Em alguns átomos esse deslocamento será mais fácil que em outros. Essa maior ou menor facilidade de fazer com que um elétron se movimente, é o que define o material como isolante, condutor ou semicondutor.

2.1.1.6. Átomo estável

Um átomo é estável quando possui em sua última camada oito elétrons, esses átomos estão fortemente ligados ao seu núcleo, são chamados de gases

nobres, (exceção ao gás hélio que possui dois elétrons na última camada). Todos são péssimos condutores de eletricidade. A figura 3.0 apresenta um exemplo de material estável, o argônio.



Figura 3.0- Argônio. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.1.7. Átomo instável

Um átomo é instável quando possui em sua última camada um, dois e três elétrons, esses átomos estão fracamente ligados ao seu núcleo, são chamados de materiais condutores. São bons condutores de eletricidade materiais como:

- Alumínio (Al)= 2 | 8 | 3
- Cobre (Cu) = 2 | 8 | 18 | 1 (figura 4.0)



Figura 4.0- Exemplo de um material com condutor, cobre. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.2. Semicondutores

Ao longo dos anos, os semicondutores trouxeram impacto na sociedade, foram de extrema importância para o desenvolvimento da tecnologia. Os semicondutores são encontrados nos chips de microprocessadores e em transistores. Geralmente, tudo aquilo que é computadorizado ou que utiliza ondas de rádio depende de semicondutores.

Os semicondutores provocaram uma verdadeira revolução na tecnologia da eletrônica. Nenhum aparelho eletrônico atual, desde um simples relógio digital ao mais avançado dos computadores, seria possível sem os semicondutores.

O nome é bastante sugestivo, pois o prefixo “semi” é normalmente aplicado a uma faixa de níveis situados entre dois limites, entre Isolantes e condutores. O Silício e o Germânio (figura 5.0) são os mais usados na indústria de semicondutores, e, portanto, na indústria de eletrônica.



Figura 5.0- Silício e Germânio, exemplos de semicondutores. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.3. Cristais

O átomo de silício isolado possui quatro elétrons na sua última camada, porém para serem quimicamente estáveis, necessitam de oito elétrons na última camada. Os átomos de silício poderão se combinar com outros átomos a fim de chegar a sua estabilidade e formar um arranjo ordenado de átomos, chamado cristal, mostrado na figura 6.0.

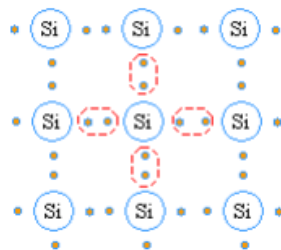


Figura 6.0- Arranjo cristalino Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.4. Semicondutor tipo N

Um semicondutor é do tipo N quando dopado com impurezas pentavalentes, ou seja, átomos que possuem cinco elétrons na última camada. A figura 7.0 apresenta um cristal dopado com fósforo.

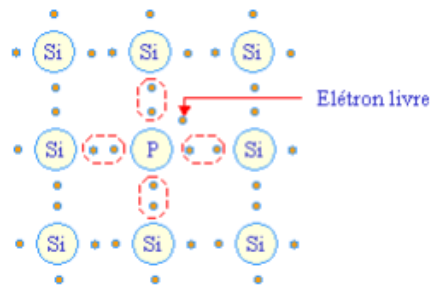


Figura 7.0- Semicondutor tipo N, dopado com fósforo. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.5. Semicondutor tipo P

Um semicondutor é do tipo P, quando dopado com impurezas trivalentes, ou seja, átomos que possuem três elétrons na última camada. Na figura 8.0 um cristal dopado com alumínio.

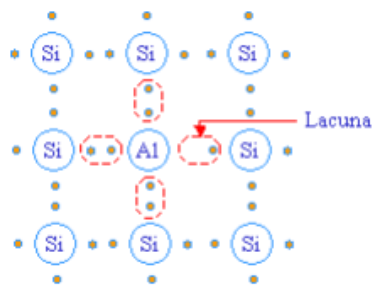


Figura 8.0- Semicondutor tipo P, dopado com alumínio. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.6. O cristal tipo P e N

A figura 9.0 apresenta um semicondutor tipo P, dopado com impurezas trivalentes. Falta de elétrons, lacuna.



Figura 9.0 – Lacuna. Fonte: (MALVINO, 1987).

A figura 10 apresenta um semiconductor tipo N, dopado com impurezas pentavalentes. Excesso de elétrons, eletros livres.



Figura 10 - Elétrons livres. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.7. A junção PN

Quando ocorre a união dos semicondutores tipo P e N (figura 11), o excesso de elétrons da parte N é atraída pela falta de elétrons da parte P, provocando recombinações de pares de elétrons, lacunas, havendo inicialmente uma difusão de elétrons livres do lado N para o lado P e de lacunas do lado P para o lado N.

A consequência disso é que do lado N aparecerão íons positivos não neutralizados e do lado P íons negativos não neutralizados fazendo aparecer uma região que não tem cargas livres, por isso é chamada de região de depleção.

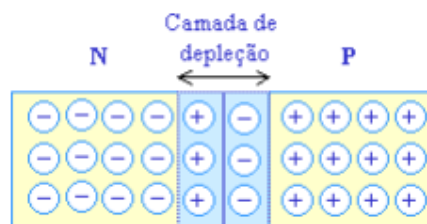


Figura 11- Junção PN. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.8. A barreira de potencial

A região de depleção cria um campo elétrico em seu interior impedindo que os elétrons livres continuem se difundindo através da junção.

Polarização direta da Junção PN adicionando uma fonte de energia externa (figura 12), bombardeando os elétrons livres do semiconductor tipo N, eles aumentarão seu nível de energia e se esta for mais alto que a barreira de potencial o diodo conduzirá.

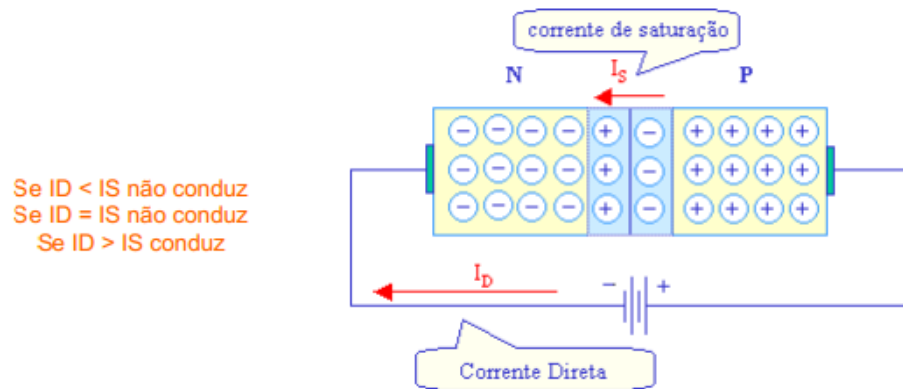


Figura 12- Condução de energia num diodo. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.9. Polarização reversa da Junção PN

Adicionando uma fonte de energia externa, bombardeando as lacunas presentes no lado P aumenta os pares de elétrons – lacuna e consequentemente a região de depleção é aumentada não permitindo a passagem da corrente elétrica, conforme a figura 13.

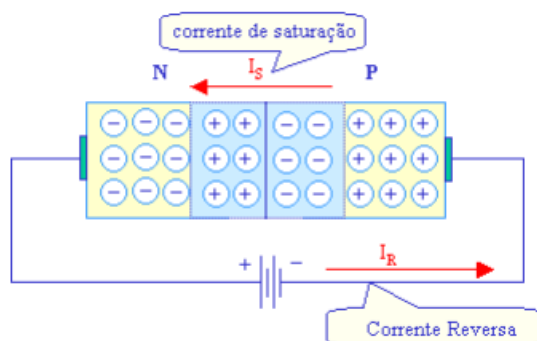


Figura 13- Barreira de energia num diodo. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.1.10. A região de ruptura

Quando se reverte à polarização, há um aumento da corrente de saturação da junção PN, até que ocorra uma pequena variação de tensão que provoca uma grande variação de corrente. Essa região é o chama-se ruptura ou Zener (figura 14).

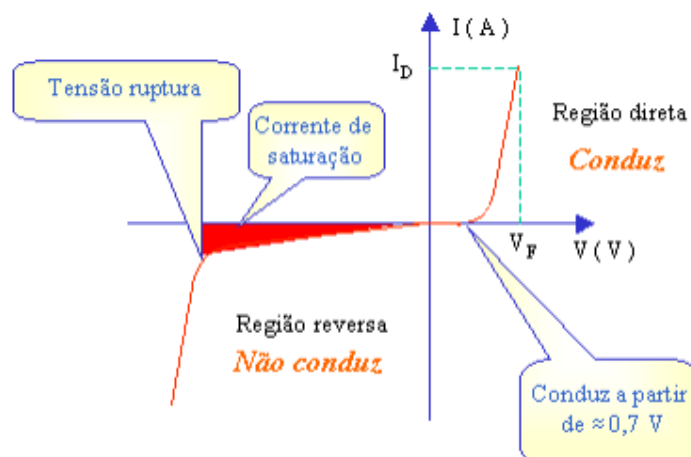


Figura 14 - Região de ruptura. Fonte: (MALVINO, 1987).

2.2. Contexto Histórico e Evolução

O primeiro registro sobre LED foi feito por Henry Joseph Round, em 1907. A luz deste componente era produzida devido ao contato de um cristal de carboneto de silício com eletrodos metálicos, que formava um retificador Schottky por contato. O primeiro LED indicador luminoso (figura 15) somente foi desenvolvido por Nick Holonyak Jr. no ano de 1962. Este LED era de cor vermelha e apresentava eficiência luminosa de apenas 0,1 lm/W, sendo que sua estrutura molecular era baseada em camadas de GaAsP. Na década seguinte, foram elaborados os LED's de cores: verde, laranja e amarela. O LED azul, no entanto foi produzido somente nos anos 90 por S. Nakamura, baseando na estrutura molecular de GaN. Desta forma somente na década de 90 foi possível gerar o conjunto RGB, permitindo assim a formação de qualquer cor, inclusive a branca. (ZUKAUSKAS, 2002)

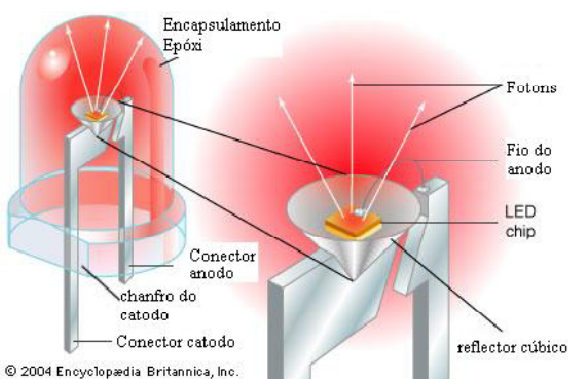


Figura 15 - LED indicador. Fonte: VIEIRA (2009)

A figura 16 ilustra o aumento da eficiência luminosa dos LED's. Segundo a lei de Craford's, o desempenho da emissão de luz aumenta dez vezes a cada década. A OIDA (*"Optoelectronics Industry Development Association"*) ainda acrescenta que a eficiência luminosa dos LED's em 2002 era em torno de 25 lm/W e em 2007 em 50 lm/W já substituindo as lâmpadas incandescentes. Em 2012 chegará a 150 lm/W, substituindo as lâmpadas fluorescentes. Prevê-se que em 2020 provavelmente chegará a 200 lm/W. VIEIRA (2009).

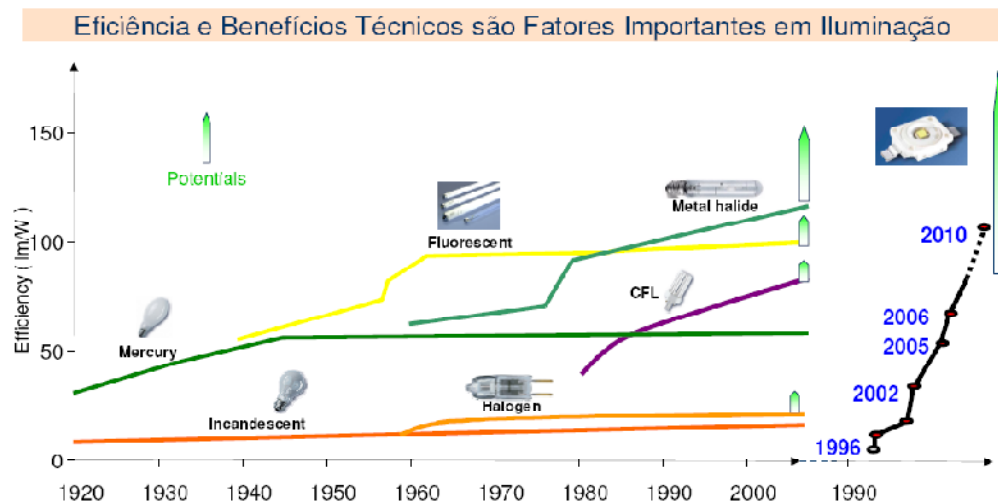


Figura 16- Curva de evolução de iluminação artificial. Fonte: VIEIRA (2009)

2.3. Aplicações dos LEDs

Segundo SALES (2011) calcula-se que entre 14% e 20% de consumo energético global são utilizados em iluminação. Perante este cenário, o LED oferece ao mundo melhor eficiência energética ao se comparar com as lâmpadas incandescentes e fluorescentes, e ao mesmo tempo, não apresenta o mercúrio ou outros componentes químicos tóxicos das lâmpadas fluorescentes ou de vapor de mercúrio. A ascensão do LED já é evidente. Atualmente, muitas aplicações anteriores que eram feitas por lâmpadas incandescentes são de domínio do LED. São exemplos: sinais de trânsito, iluminação de ambientes arquitetônicos e painéis luminosos com cores plenas.

2.4. Classificação dos LEDs

O ascendente mercado dos LED's é impulsionado devido ao surgimento de mais duas categorias além da do LED indicador. Entre elas são os LED de alto brilho (HB-LED's) e a os LED de Potência, ilustradas na figura 17. A principal diferença entre o LED indicador para o LED de alto brilho é o invólucro colorido com função de filtro óptico presente no primeiro. Já o segundo tipo emite somente o comprimento de onda da cor de trabalho desejada e não necessita de filtro. Desta forma, os LED's de alto brilho possuem um invólucro transparente e maior eficiência. Os LED's de potência consomem potência igual ou superior a 1W, sendo que atualmente são comercializados LED's de até 50W. Devido à grande potência dissipada, estes dispositivos não trabalham sem a presença de dissipadores de calor.



Figura 17- Categorias de LED's. Fonte: VIEIRA (2009).

Segundo VIEIRA (2009), outro dispositivo em destaque no mercado é o Diodo Orgânico Emissor de Luz - OLED, criado pela Kodak em 1980. O OLED é composto por moléculas de carbono que emitem luz somente ao receberem cargas elétricas. Caso contrário, este composto se torna obscuro gerando o preto real. Devido a estas características, displays a base de OLED não necessitam de luz de fundo ou lateral. Entre outras vantagens do OLED frente ao LCD estão: menor tamanho físico, menor consumo de energia, menor tempo de resposta, melhor contraste (de 7.000.000:1 contra 100.000:1 das telas LCD), melhor resistência térmica, menor quantidade de matéria prima para produção e ângulo de visualização de até 178°. O baixo custo de fabricação de display de OLED se justifica devido ao fato das moléculas de OLED serem diretamente aplicadas sobre a superfície da tela, usando um método de impressão.

3. FUNDAMENTOS LUMINOTÉCNICOS

3.1. Conceitos luminotécnicos

As grandezas a seguir são fundamentais para o entendimento dos conceitos da luminotécnica.

3.1.1. A radiação solar e a luz

Uma fonte de radiação emite ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda. A radiação solar tem três espectros principais desta radiação: o infravermelho – responsável pela sensação de calor - o espectro visível, ou luz, e o ultravioleta – responsável pelo efeito higiênico da radiação (pois mata bactérias e fungos), pela despigmentação de alguns tipos de tecidos, pelo bronzeamento da pele, etc.

Luz é, portanto, a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual e está compreendida entre 380 e 780 nm (Figs. 18 e 19). A sensibilidade visual para a luz varia não só de acordo com o comprimento de onda da radiação, mas também com a luminosidade.

A curva de sensibilidade do olho humano demonstra que radiações de menor comprimento de onda (violeta e azul) geram maior intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz (ex: crepúsculo, noite, etc.), enquanto as radiações de maior comprimento de onda (laranja e vermelho) se comportam ao contrário. O olho humano possui diferentes sensibilidades para a luz. Durante o dia, nossa maior percepção se dá para o comprimento de onda de 550 nm, correspondente às cores amarelo-esverdeadas.

Durante a noite, para o de 510 nm, correspondente às cores verdes azuladas (fig. 19).

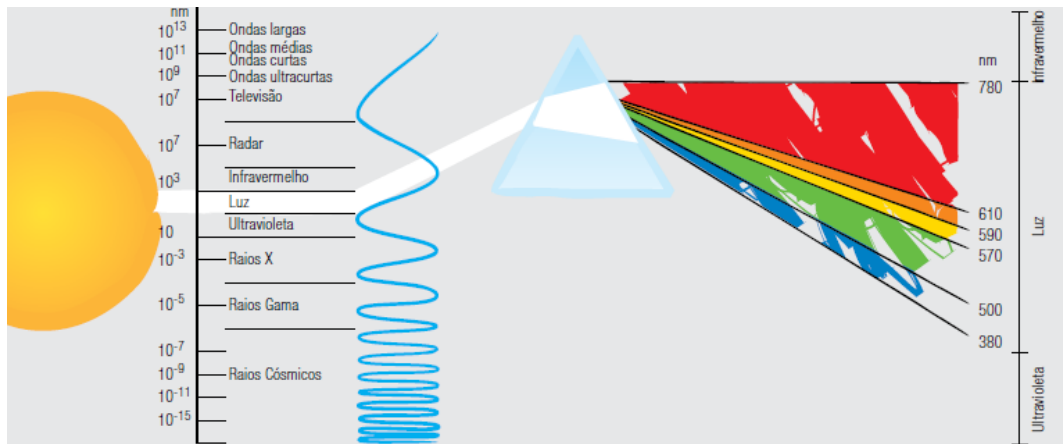


Figura 18: Espectro Eletromagnético. Fonte: OSRAM (2011).

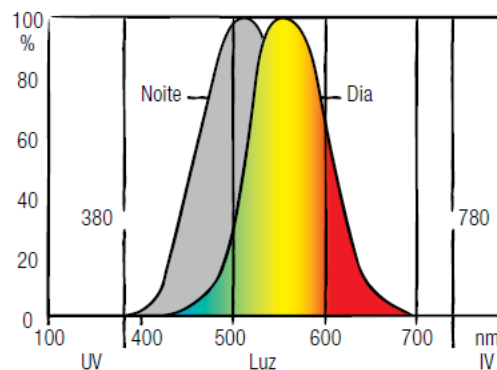


Figura 19: Curva de sensibilidade do olho humano à radiação visível. Fonte: OSRAM (2011).

3.1.2. Fluxo Luminoso (Φ)

O fluxo luminoso é uma das unidades fundamentais em engenharia de iluminação, dada como a quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço. Sua unidade de medida é o lúmen.

O lúmen é a quantidade de luz irradiada através de uma abertura de 1m^2 em uma esfera de 1m de raio. Como referência, considera-se que uma fonte luminosa uniforme de intensidade de 1 candela emite 12,56 lúmens, ou seja, $4\pi R$ lúmens, sendo 1 lúmen para cada área de 1m^2 na superfície dessa esfera. CREDER (1996).

3.1.3. Intensidade luminosa (I)

É a quantidade de luz que uma fonte emite em uma determinada direção. O seu valor está diretamente relacionado à direção dessa fonte de luz, pois pode-se perceber que fontes luminosas normalmente não emitem a mesma quantidade de luz em todas as direções.

A sua unidade é dada em Candela (cd) ou em algumas situações candela/1000 lúmens, e é avaliada utilizando-se como fonte de luz um corpo negro aquecido a temperatura de solidificação da platina, que é de 1.773°C, à pressão constante de 101.325 13N/m², e cuja intensidade luminosa incide erpendicularmente sobre uma área plana igual a 1/600.000 m². MAMEDE (1997).

3.1.4. Iluminância (E)

Também conhecida como nível de iluminamento, é definida como o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície situada a certa distância da fonte, ou seja, é a quantidade de luz que está chegando em um ponto. OSRAM (2011). A unidade de medida da iluminância é expressa em lux e pode ser medida através de um aparelho chamado luxímetro. A equação 1.0 serve para a realização do cálculo de iluminância.

$$E = \frac{\varnothing}{S}$$

Equação 1.0

Onde:

$\varnothing$ = fluxo Luminoso [lumens]

S = área da superfície iluminada [m²]

E = iluminância [lux]

Como as fontes luminosas não apresentam uma distribuição uniforme, a iluminância não será a mesma em todos os pontos do recinto sendo considerada na prática iluminância média.

A NBR 5413, que trata da Iluminância de interiores, define os níveis mínimos de iluminância média para um determinado recinto em função das tarefas a ser executadas no local, de forma que seja obtido um conforto visual. Esse conforto depende também da iluminância no restante do ambiente, que não deve ser inferior a 1/10 da adotada para o campo de trabalho, mesmo que haja recomendações para valor menor. Recomenda-se ainda que a iluminância de qualquer ponto do plano de trabalho não seja inferior a 70% da iluminância média segundo a NBR 5413.

A iluminância pode ser medida através de um luxímetro. A norma NBR 5382 determina como devem ser feitas as medições em ambientes internos para a determinação de sua iluminância média.

3.1.5. Luminância (L)

É a medida de sensação de claridade provocada por uma fonte de luz ou superfície iluminada e avaliada pelo cérebro. A luminância depende tanto do nível de iluminamento, quanto das características de reflexão das superfícies e é dada em candela/m².

Também podemos definir luminância como sendo a intensidade luminosa emanada de uma superfície, pela sua superfície aparente. OSRAM (2011). A iluminância em determinado ponto pode ser calculada através da equação 2.0.

$$L = \frac{I}{A \times \cos \alpha} \quad \text{Equação 2.0}$$

Onde:

L = luminância [cd/m²]

I = Intensidade Luminosa [cd]

α = ângulo considerado [graus]

A = área projetada [m²]

Devido à dificuldade em determinar a intensidade luminosa proveniente de corpo não radiante, é usual a utilização da equação 3.0:

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi}$$

Equação 3.0

Onde:

ρ = coeficiente de reflexão.

E = iluminância sobre a superfície [lux]

Convém ressaltar que o olho humano distingue luminância e não iluminância. Entretanto, devido à prática, foi consagrada a medida de iluminância para determinar se a iluminação está adequada ao funcionamento de um determinado ambiente.

3.1.6. Eficiência Luminosa (η)

As lâmpadas não se diferenciam apenas pelo fluxo luminoso emitido, mas também pelas potências consumidas. Uma das formas de fazer uma análise da eficiência de uma lâmpada é descobrindo a relação entre a quantidade de lúmens emitidos e a potência consumida. Essa relação é denominada eficiência luminosa e pode ser determinada através da equação 4.0.

$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

Equação 4.0

Onde:

η = eficiência Luminosa, em [lm/W]

Φ = fluxo Luminoso [lm]

P = potência consumida [W]

Em um projeto luminotécnico procura-se utilizar lâmpadas de melhor eficiência luminosa, desde que essas possuam todas as outras características compatíveis com o ambiente a ser iluminado. A eficiência luminosa também é levada em consideração quando se executa uma análise de custo-benefício, visto que o custo inicial da aquisição da luminária e lâmpada pode ser restituído no decorrer de sua vida útil devido à economia de energia elétrica.

3.1.7. Refletância (ρ)

Parte do fluxo luminoso que incidem sobre uma superfície é absorvido, parte sofre refração e uma terceira parcela é refletida. A relação entre o fluxo luminoso incidente sobre a superfície e o fluxo luminoso refletido é conhecida como refletância.

A refletância de uma superfície pode ser determinada de acordo com a equação 5.0.

$$\rho = \frac{\phi \text{ refletido}}{\phi \text{ incidente}} \quad \text{Equação 5.0}$$

Onde:

ρ = Refletância

ϕ refletido = fluxo luminoso refletido

ϕ incidente = fluxo luminoso incidente

O valor da refletância das superfícies de um ambiente está diretamente relacionado com a cor das suas superfícies e do tipo de material que eles são compostos. Quanto maior a refletância das superfícies de determinado ambiente, melhor será a distribuição do fluxo luminoso e consequentemente maior será a iluminância no recinto.

3.1.8. Luz e Cores

Há uma tendência no pensamento de que os objetos já possuem cores definidas. Na verdade, a aparência de um objeto é resultado da iluminação incidente sobre ele. Por exemplo, sob uma luz branca, a maçã aparenta ser de cor vermelha, pois ela tende a refletir a porção do vermelho do espectro de radiação, absorvendo a luz nos outros comprimentos de onda. Se um filtro for utilizado para remover a porção do vermelho da fonte de luz, a maçã refletiria muito pouca luz, parecendo totalmente negra. Pode-se ver que a luz é composta por três cores primárias. A combinação das cores vermelha, verde e azul permite a obtenção do branco (Sistema RGB).

A combinação de duas cores primárias (figura 20) produz as cores secundárias - magenta, amarelo e ciano. As três cores primárias, dosadas em diferentes quantidades, permite-se obter outras cores de luz. Da mesma forma que surgem diferenças na visualização das cores ao longo do dia (diferenças da luz do sol ao meio-dia e no crepúsculo), as fontes de luz artificiais também apresentam diferentes resultados. As lâmpadas incandescentes, por exemplo, tendem a reproduzir com maior fidelidade as cores vermelha e amarela do que as cores verde e azul, aparentando ter uma luz mais “quente”.



Figura 20- Composição das cores da luz. Fonte: OSRAM (2011).

3.1.9. Potência Total Instalada (ou Fluxo Energético)

A potência total instalada é a somatória da potência de todos os aparelhos de iluminação. Trata-se da potência da lâmpada, multiplicada pela quantidade de

unidades utilizadas (n), somado à potência (W) consumida de todos os reatores, transformadores e/ou ignitores. Uma vez que o valor resultantes é expressos em quilowatts (kW), aplica-se, portanto, o quociente 1000 na equação 6.0.

$$P_t = \frac{n \times W}{1000} \quad \text{Equação 6.0.}$$

Onde:

W = potência consumida pelo conjunto lâmpada + acessórios;

n = quantidade da lâmpadas utilizadas

P_t = Potência total instalada

3.2. Processos de emissão de luz do LED

O material semicondutor do diodo é formado pela junção de dois pequenos cristais de silício impregnados com diferentes materiais formando uma junção “PN”. Os cristais “P” possuem carga positiva, falta de elétrons, sendo receptores; enquanto que os cristais “N” possuem carga negativa, excesso de elétrons, sendo doadores.

Quando é aplicada uma tensão direta no semicondutor de junção “PN” os elétrons movem-se do pólo “N” para o pólo “P”, e as lacunas (espaços determinados pela falta de elétrons) do pólo “P” para o “N”. Durante este movimento ocorre recombinação, ou encontro, dos elétrons com as lacunas nas proximidades da junção, sendo que a energia possuída pelo elétron é liberada em forma de calor ou fótons de luz, que é emitida pelo LED, figura 21.

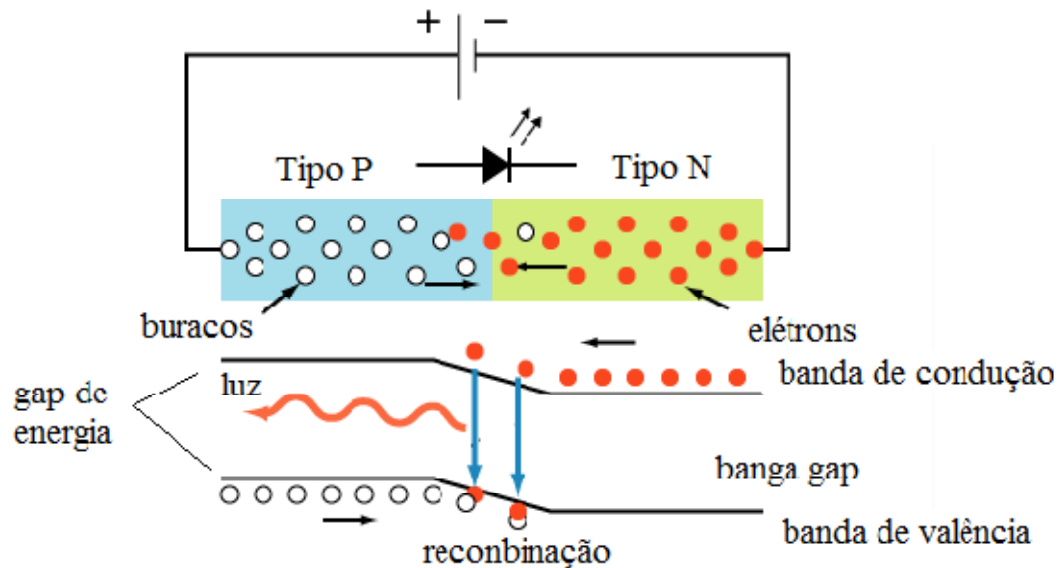


Figura 21: Modo de produção da luz no LED. Fonte: BRANCACCI (2009).

No diodo feito com silício e germânio a maior parte da energia é liberada na forma de calor; utilizando materiais como o Arseneto de gálio - GaAs ou Fosfeto de gálio - GaP, a quantidade de fótons de luz emitido é grande o suficiente para serem utilizados como fonte de luz artificial.

3.3. Espectros de radiação e cores do LED

A luz emitida pelo LED é monocromática com reduzida largura da banda ou frequência, a cor da luz está relacionada com o valor do gap que é específico para cada tipo de material utilizado como dopante no semiconductor; o gap é um valor específico de energia que o elétron absorve ou emite para se mover da banda de valência, nos átomos, para a banda de condução, onde os elétrons estão em movimento. Quanto maior o gap, maior a quantidade de energia emitida quando da queda do elétron da banda de condução para a banda de valência e quanto mais energia emitida menor será o comprimento de onda da luz emitida.

A combinação e quantidade dos elementos químicos dopantes como Gálio - Ga, Arsênico - As, Índio - In, Fósforo - P, Alumínio - Al e Nitrogênio - N em um semiconductor modificam o valor do *gap* com isso consegue-se luz de várias cores. Abaixo estão duas misturas utilizadas para gerar alguns padrões de cores.

- AlGaInP – mistura utilizada para produzir luz vermelha, laranja e amarela;
- InGaN – mistura utilizada para produzir luz azul e verde;

O controle da dopagem dos elementos químicos possibilita escolher qual a frequência da onda de luz que será emitida, possibilitando máxima resposta ao olho humano, isto é, o espectro da luz do LED fica dentro da região da luz visível. A figura 22 mostra o espectro de radiação e as cores correspondentes. A figura 23 mostra a característica dos diferentes modelos de LEDs quanto ao comprimento de onda emitido. PINTO (2008).

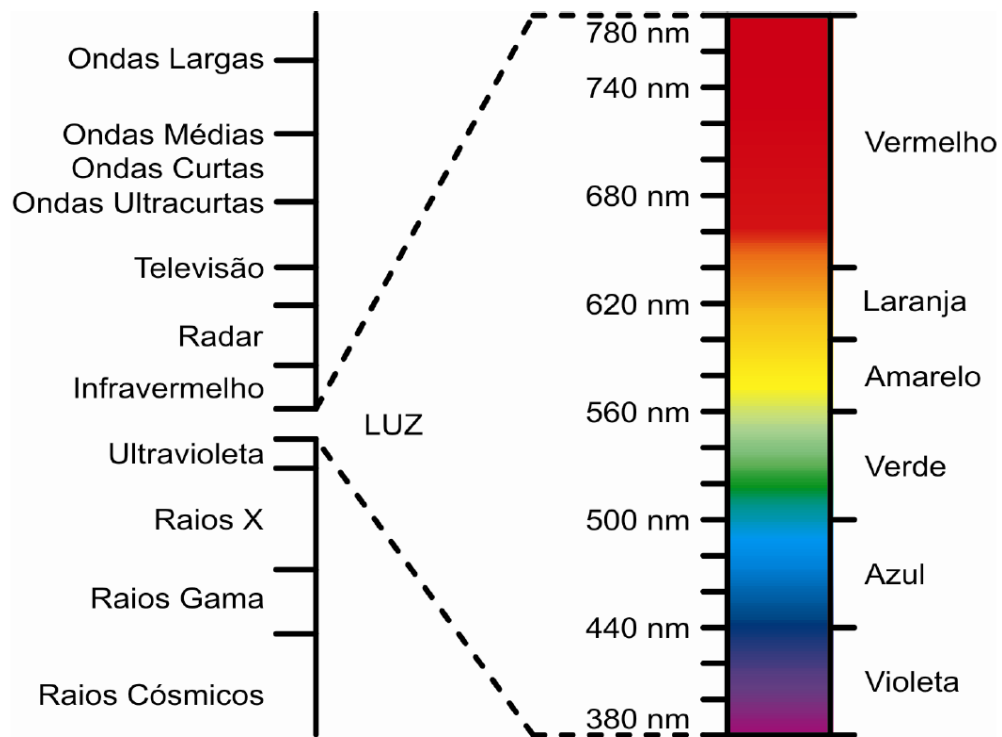


Figura 22 – Espectro de radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda. Fonte PINTO (2008).

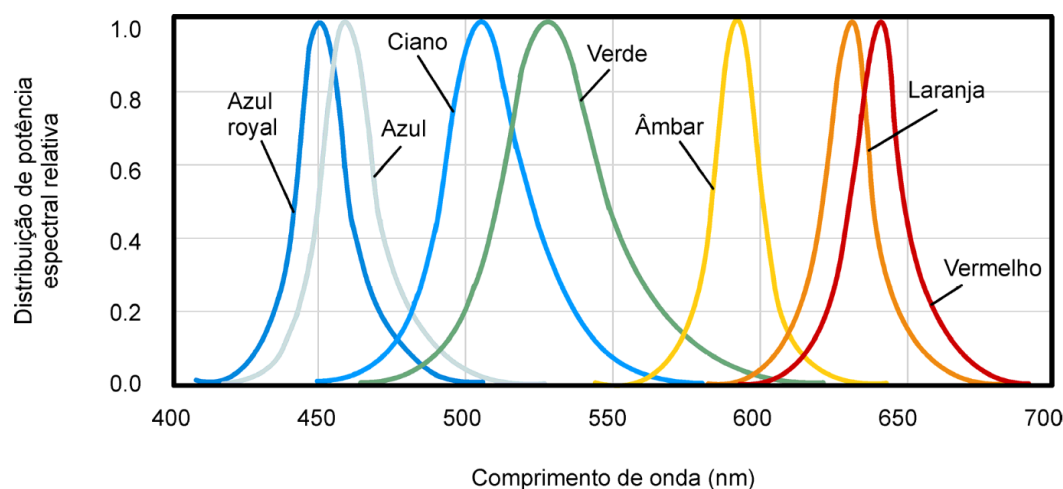


Figura 23 – Diferentes modelos de LEDs e seus respectivos comprimento de onda. Fonte PINTO (2008).

3.4. Temperaturas de cor

A temperatura de cor é a característica que indica a aparência da cor da luz. As lâmpadas mais amareladas possuem baixa temperatura de cor, abaixo de 3000K. As lâmpadas com aparência tendendo ao azul violeta são de alta temperatura de cor, sendo superior a 6.000 K (figura 24).

Na prática, as lâmpadas com baixa temperatura de cor, também chamadas de lâmpadas quentes, são associadas ao nascer e ao pôr do sol. São relacionadas, portanto, com atividades do início e fim do dia. Esse tipo de iluminação torna o ambiente mais aconchegante, sendo utilizada em ambientes como quartos e salas de estar.

As lâmpadas com alta temperatura de cor, também chamadas de lâmpadas frias, são associadas à iluminação do meio dia, sendo relacionadas, por isso, a períodos de maior produção. Esse tipo de iluminação é utilizado em ambientes onde se deseja estimular alguma atividade, como, por exemplo, escritórios e cozinha.

Segundo FIORINI (2006), na Europa existem escritórios que utilizam uma composição de lâmpadas halógenas e fluorescentes. Elas funcionam simultaneamente pela manhã. O dimmer diminui gradativamente a halógena até ficar somente a luz branca. No final do dia, a halógena volta a funcionar. Esse

procedimento proporciona ao usuário a sensação do decorrer do dia e por isso uma sensação de conforto, melhorando assim o seu rendimento profissional.

Segundo a projetista de iluminação Rosane Haron (LIGHTING, 2006), as lanchonetes costumam ter, intencionalmente, iluminação mais fria, o que induz o cliente a fazer sua refeição rapidamente e sair do local. Um restaurante com iluminação ambarizada, mais cênica e aconchegante, estimula o bate-papo, a descontração e, portanto, a permanência. Com isso acabam consumindo mais.

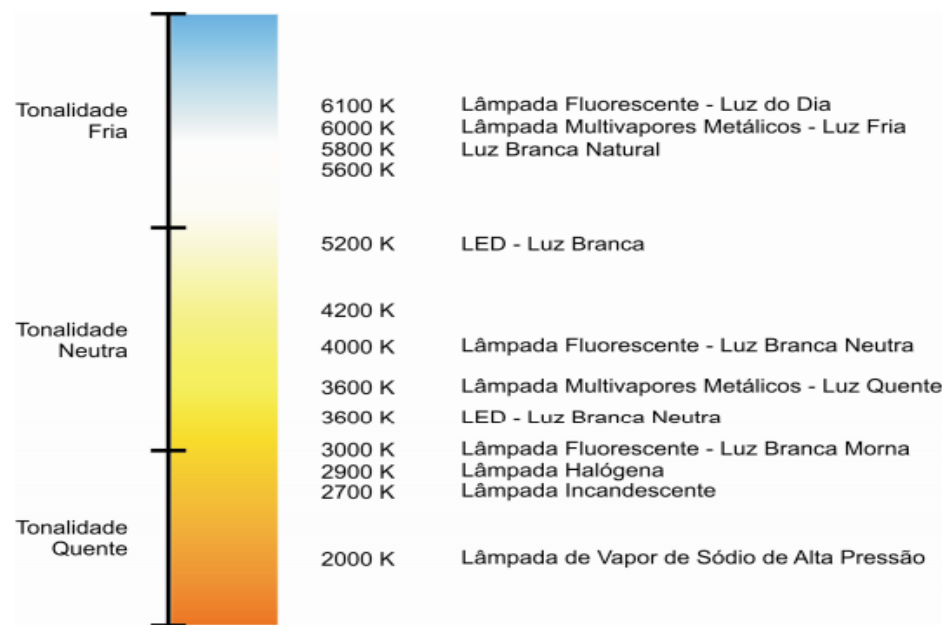


Figura 24: Temperatura de cor de diferentes fontes de luz. Fonte PINTO (2008)

3.5. Intensidades luminosas do LED

O fluxo luminoso específico dos LED está aumentando rapidamente e está muito à frente das lâmpadas halógenas e incandescentes em termos de rendimento luminoso. Além disso, quando comparados com lâmpadas fluorescentes compactas, são hoje altamente competitivos. No entanto, de um modo geral, espera-se um limite de 180 a 200 lm/W para cores quentes.

Durante anos, a eficiência das luminárias fluorescentes foi expressa em termos percentuais, indicando o nível de eficiência com que uma luminária utiliza a luz. Mas na era dos LED, fala-se em lumen por Watt, ou seja, rendimento luminoso

por unidade de consumo. Neste contexto, é importante ter em conta a eficiência específica da solução global constituída pela fonte de luz e pela luminária.

A eficiência de uma luminária fluorescente é determinada através da comparação do fluxo luminoso da luminária com o de uma lâmpada nua. É muito fácil demonstrar uma indicação de eficiência em termos percentuais. Isso mostra o grau de eficiência com que uma luminária lida com uma determinada quantidade de luz (figura 25). Foi por isso que essa indicação se tornou o padrão para soluções fluorescentes. É também muito fácil de determinar: basta medir o fluxo luminoso da luminária com a lâmpada e compará-lo com o fluxo luminoso da lâmpada nua.

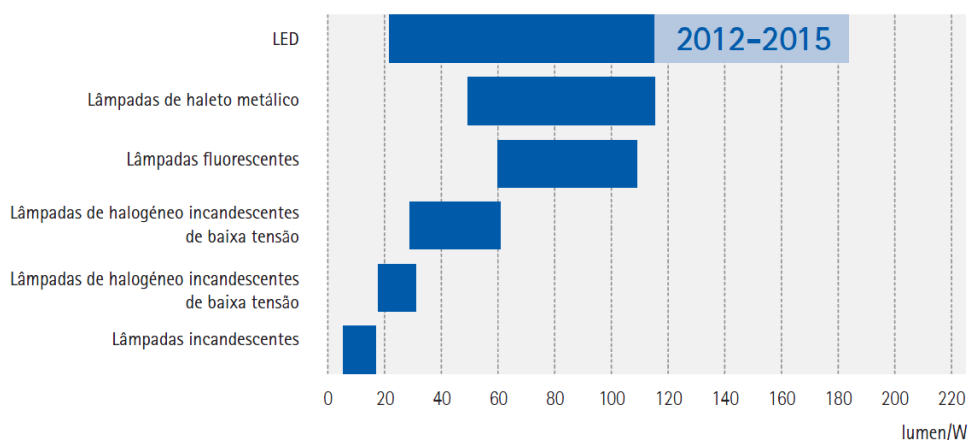


Figura 25- Valores típicos de eficiência de fontes de luz - Fonte: ETAP (2011)

3.6. Obtenções da luz branca

O advento dos LEDs azuis, em 1993, permitiu a geração da luz branca a partir de sua união com os tradicionais LEDs vermelho e verde. Atualmente três são as formas básicas de conseguir a luz branca:

- a) A partir de três unidades de LEDs vermelho, verde e azul - RGB, é possível conseguir qualquer cor, incluindo o branco, figura 26.

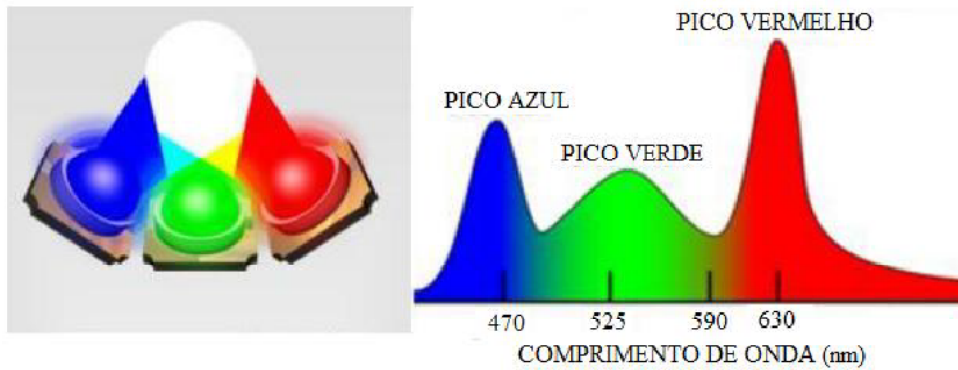


Figura 26- Espectro da luz branca a partir dos LEDs vermelho, verde e azul, Fonte: CREE (2010).

- b) A partir do LED Azul + fósforo, sendo que a emissão azul converte-se em amarela pela capa de fósforo no Chip e a parte superior do refletor. A mistura de cor azul e amarela proporciona a luz branca, figura 27.

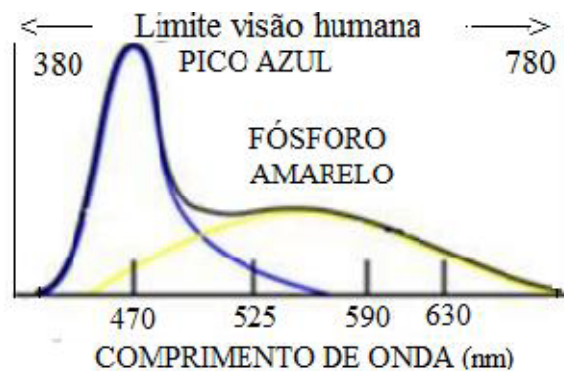


Figura 27-Espectro da luz branca a partir do LED azul + fósforo, Fonte: CREE (2010).

- c) LED UV + fósforo, esse LED é feito a partir de um único tipo de molécula, no caso, partículas de fósforo. O fósforo depositado em cima do material semiconductor de um LED ultravioleta faz a conversão da luz UV para a luz branca como em uma lâmpada fluorescente comum, figura 28.

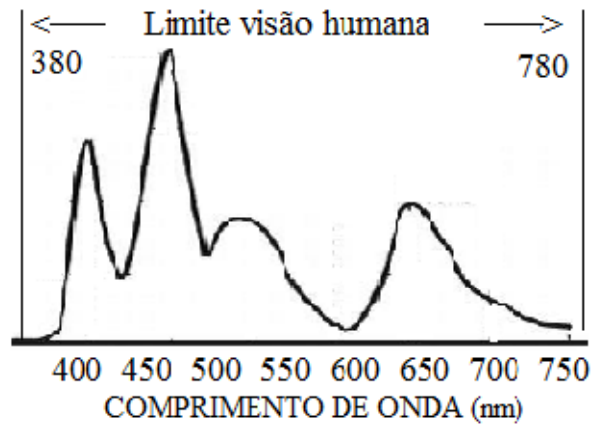


Figura 28-Espectro da luz branca a partir do LED UV + fósforo, Fonte: CREE (2010).

4. COMPARATIVO ENTRE AS TECNOLOGIAS

4.1. Principais tipos de lâmpadas

4.1.1. Incandescente

Uma das características da lâmpada aprimorada por Thomas Edison (figura 29) que se mantém até hoje é o elevado aquecimento. Seu filamento opera em temperaturas superiores a 2.000 °C e apenas 10% da eletricidade consumida pela incandescente é convertida em luz, o restante se transforma em calor, tornando a lâmpada hoje uma das menos eficientes do mercado. Seu rendimento é de aproximadamente 2,5 lm/W nas lâmpadas de filamento de carbono, e 25 lm/W nas de filamento de tungstênio.

A sublimação também não foi completamente eliminada e a lâmpada pode perder até 20% de sua luminosidade até o fim de sua vida útil, que é de 750 a 1.000 horas. A baixa durabilidade comparada às tecnologias de iluminação mais recentes também se deve a esse efeito, que torna o filamento cada vez mais fino, provocando seu rompimento e a consequente inutilização da lâmpada, é o que afirma o Portal o Setor Elétrico, Ed. 46 – Novembro de 2009



Figura 29-Lâmpada incandescente patenteada por Thomas Alva Edison em 1881. Fonte: Lâmpadas e Leds – Portal o Setor Elétrico, Ed. 46 – Novembro de 2009

Para aumentar seu fluxo luminoso, durante mais de um ano da década de 1990, os fabricantes passaram a produzir incandescentes de 120 V, mas a mudança não foi bem recebida pela população nem pela imprensa que pressionaram a indústria para que as lâmpadas retornassem aos 127 V habituais.

Todas essas desvantagens, principalmente a baixa eficiência energética, têm feito com que a incandescente seja banida em muitos países, como República Dominicana, Nova Zelândia e os integrantes da União Européia. Apesar disso, seu grande trunfo ainda é o Índice de Reprodução de Cor (IRC) de 100, ou seja, é a incandescente quem mais se aproxima da cor da luz emitida pelo Sol, um patamar difícil de ser alcançado por outras lâmpadas. No Brasil, as incandescentes ainda são muito populares no uso residencial por seu baixo custo e em projetos em que o conforto proporcionado por sua luz é requisitado, mas já estão em seu prazo final de comercialização, ao qual deve ser até o ano de 2017 conforme matéria do Portal Brasil de 02/07/2012.

4.1.2. Halógena

As lâmpadas halógenas foram criadas logo após a incandescente, no início do século XX, com o “ciclo do halogênio”, em que partes do filamento composto de tungstênio que evaporam durante o processo são capturadas por gases inertes e halogênio contidos no bulbo e reconduzidas ao filamento quando a halógena é desligada. Isto evita que a lâmpada escureça e que haja depreciação de sua vida útil ou de seu fluxo luminoso como ocorre na incandescente, permitindo, ainda, que as halógenas tenham tamanho reduzido.

O “ciclo do halogênio” também permite que o filamento da lâmpada trabalhe com temperatura mais alta que as incandescentes e isso produz mais luz e maior temperatura de cor, alcançando cerca de 3.000 K contra 2.700 K da incandescente comum. Para suportar a temperatura de funcionamento elevada, o tubo que envolve o filamento é feito de quartzo, enquanto as incandescentes utilizam vidro comum.

A halógena possui IRC de 100 e sua vida útil média varia entre 2.000 a 5.000 horas. São comumente aplicadas em projetos de iluminação residencial, comercial, arquitetural e de interiores.

4.1.3. Fluorescente

Da mesma forma que os pesquisadores da lâmpada incandescente buscaram inspiração no sol para desenvolver um mecanismo de acendimento, a lâmpada fluorescente foi inspirada nos raios. Isto porque seu funcionamento consiste em uma descarga elétrica em dois filamentos que lançam elétrons que, ao se chocarem, vaporizam o mercúrio contido no bulbo, produzindo um espectro luminoso pobre, formado basicamente por radiação ultravioleta, que é invisível ao olho humano. Porém, ao entrar em contato com a tinta de fósforo que reveste o bulbo de vidro das fluorescentes, a radiação se transforma em luz visível. Aliás, este é o motivo pelo qual por muito tempo ela foi chamada de lâmpada fosforescente.

As primeiras fluorescentes comercialmente viáveis surgiram na década de 1930, mas, em 1926, o cientista Edmund Germer já a havia inventado a partir de uma lâmpada a vapor de mercúrio com a pressão dentro do tubo aumentada e com o vidro revestido com pó fosforescente para obter uma luz branca mais uniforme. As fluorescentes utilizam reatores para dar a partida em seu funcionamento e para limitar a corrente elétrica e proteger o circuito. Ganharam notoriedade na década de 1970 e são responsáveis por cerca de 80% de toda a luz artificial do planeta.

Os modelos conhecidos atualmente são de catodo quente, mas já existiram fluorescentes de catodo frio, que não possuíam filamentos nos eletrodos e precisavam de um autotransformador para seu funcionamento que, por sua vez, produzia pulsos de alta tensão constantemente. A vantagem dessa tecnologia era seu acendimento instantâneo e a maior vida útil comparada com as fluorescentes de catodo quente da época, porém, eram muito grandes e seu processo de produção era quase artesanal.

As lâmpadas antigas também possuíam um componente elétrico ou eletrônico chamado “starter” para auxiliar na partida e que era acoplado em separado em algumas instalações com reator convencional. Com o advento do reator magnético, mas de partida rápida, o starter entrou em desuso. Embora mais econômico que o sistema de partida rápida, os reatores com starters foram pouco usados no Brasil, tendo sua concentração de mercado no Nordeste. Atualmente, os reatores eletrônicos possuem componentes internos que fazem a partida das lâmpadas sem

necessidade de starter externo. Após a partida, as fluorescentes levam de três a cinco minutos para atingir o regime de funcionamento normal. Este é o tempo necessário para que o mercúrio e outros componentes metálicos se expandam e produzam luz. A figura 30 apresenta esquematicamente o mecanismo de funcionamento de lâmpadas fluorescentes tubulares.

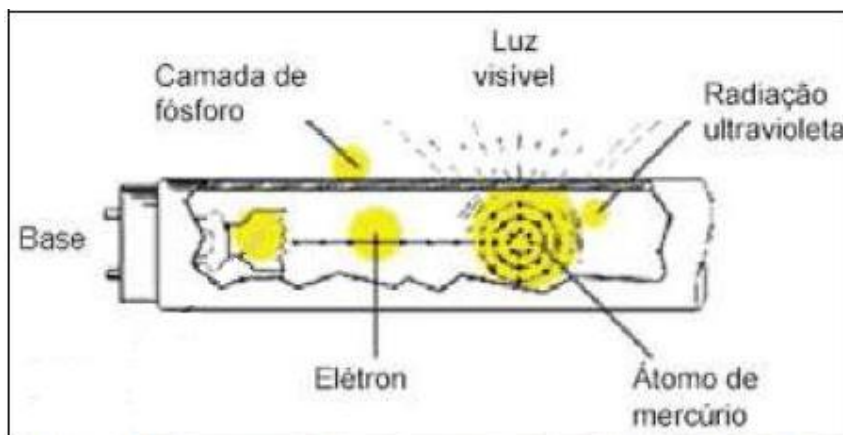


Figura 30 -Mecanismo de funcionamento de lâmpadas fluorescentes tubulares

Fonte: <http://paladinobr.blogspot.com.br/2011/07/perigo-das-lampadas-fluorescentes.html>

Reconhecidas mundialmente por sua eficiência energética (cerca de 90 lm/W) as lâmpadas fluorescentes duram, em média, 7.500 horas, com temperaturas de cor que variam de 2.700 K (mais amareladas) até 8.000 K (mais azuladas), entretanto, as mais utilizadas têm de 4.000 K a 5.200 K.

Sua maior desvantagem ainda é o IRC que pode variar de 70 a 90, de acordo com o modelo. Entretanto, sua miniaturização e formas variadas permitiram sua ampla disseminação e atualmente são utilizadas em residências, comércios e indústrias, sendo aplicada, inclusive, em algumas vias públicas.

Para sua aplicação, um ponto a ser observado é o número médio de acendimentos diários do local, tendo em vista que as fluorescentes têm sua vida útil calculada para oito acionamentos por dia e, ao exceder esse número, a lâmpada terá sua durabilidade proporcionalmente diminuída. Por isso, as fluorescentes não são indicadas para ambientes de muito movimento com sensores de presença, por exemplo.

Segundo Mascia (2011) as necessidades tanto residenciais quanto industriais de lâmpadas compactas de elevada eficiência luminosa se tornou cada vez mais importante, pois desde o surgimento das lâmpadas incandescentes pouca coisa evoluiu em referência a qualidade de iluminação das mesmas.

Sendo assim, somente em 1986 foram produzidas as primeiras lâmpadas fluorescentes com reatores integrados. Este projeto era muito compacto comparado com os padrões atuais de fluorescente tubulares. A característica principal deste projeto era a utilização do bocal de rosca E-27, a partir disso, as fronteiras foram abertas para a substituição das lâmpadas incandescentes.

Primeiramente precisava-se de uma corrente nominal de descarga igual às lâmpadas fluorescentes tubulares, porém esta corrente deveria ser produzida a partir de um reator que coubesse em uma lâmpada com bocal E-27. Porém, esta técnica somente se tornou viável com o desenvolvimento do tri fósforo, pois este permite um aumento na temperatura de trabalho da parede do tubo da lâmpada. Logo após, foi necessário reduzir o diâmetro do bulbo e modificar o gás de enchimento, de forma a aumentar a tensão de arco e, com isso, a potência, com a mesma corrente nominal de descarga.

Como todas as lâmpadas de descarga, as lâmpadas fluorescentes compactas necessitam de um reator que pode ser eletromagnético ou eletrônico, de acordo com o tipo de lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes compactas (figura 31) têm algumas particularidades quanto a sua construção, eficiência luminosa, potência e utilização.

Para ser eficiente a radiação ultravioleta deve ser gerada em baixa pressão. Ao mesmo tempo a quantidade de watts por unidade de comprimento das lâmpadas fluorescentes é bastante restrita e, por esta razão, lâmpadas com boa eficiência, têm uma forma linear (tubo).

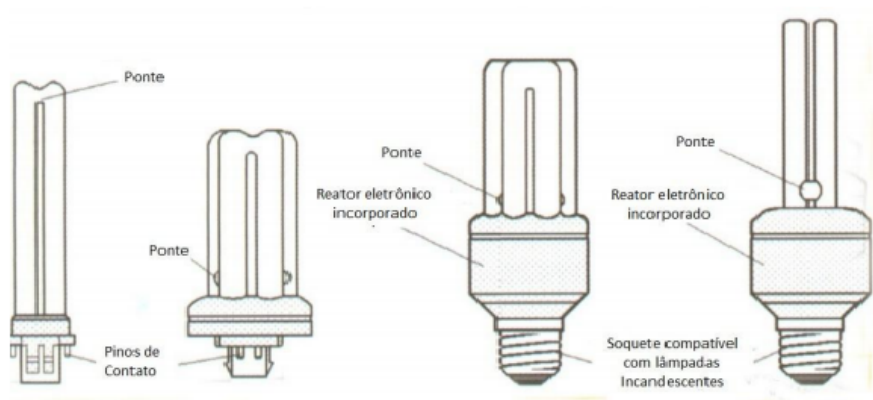


Figura 31- Lâmpadas fluorescentes compactas MASCIA (2011)

Uma variação dos modelos comuns é a lâmpada por indução eletromagnética criada na década de 1980 e que, ao contrário das fluorescentes que possuem filamentos elétricos para a produção do arco e a consequente vaporização do mercúrio, contam com bobinas magnéticas que, por indução dos elétrons, vaporiza o mercúrio. Algumas usam amálgama no lugar do mercúrio, visando a reduzir o risco de contaminação no descarte. Sua vida útil pode chegar a 100 mil horas e tem demonstrado boa aplicação em iluminação pública, principalmente em locais de difícil acesso, por sua durabilidade e, consequentemente, seu baixo índice de manutenção.



Figura 32-Túnel Jânio Quadros na cidade de São Paulo. Fonte: Lâmpadas e Leds – Portal o Setor Elétrico, Ed. 46 – Novembro de 2009

Recentemente foram utilizadas lâmpadas fluorescentes de indução eletromagnética para iluminar o túnel Jânio Quadros na cidade de São Paulo (figura 32) em substituição às lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão.



Figura 33- Túnel Nove de Julho na cidade de São Paulo. Fonte: Lâmpadas e Leds – Portal o Setor Elétrico, Ed. 46 – Novembro de 2009

O túnel Nove de Julho, em São Paulo (figura 33), também passou por retrofit e atualmente é iluminado com lâmpadas de indução eletromagnética.

As lâmpadas de indução eletromagnética têm IRC de 80 e sua temperatura média de cor é de 4.000 K, mas varia de acordo com o fabricante, assim como ocorre com outras fluorescentes. Possui bom rendimento, com 80 lm/W.

4.1.4. Vapor de mercúrio sob alta pressão

As lâmpadas a vapor de mercúrio foram criadas também na década de 1930, utilizando a mesma técnica da fluorescente com gases sob alta pressão dentro de um tubo de descarga de quartzo. Há eletrodos nas extremidades do tubo (nas fluorescentes são chamados de filamentos) envoltos por argônio e mercúrio que, ao receber a partida por meio de um reator, liberam elétrons que se chocam com os átomos de mercúrio, provocando sua vaporização e a consequente emissão de raios ultravioletas. Graças à presença de um eletrodo auxiliar que ioniza o argônio, este tipo de lâmpada não necessita de um pico de tensão (ignição) para acender. Um

pequeno resistor conectado a este eletrodo limita a corrente elétrica para que ele funcione apenas no momento da partida da lâmpada.

Como na fluorescente, ao passar pelo bulbo revestido com tinta fluorescente, a radiação se transforma em luz visível. No caso das lâmpadas a vapor de mercúrio, ainda é aplicado vanadato de ítrio no bulbo para corrigir, com o aumento do vermelho, a luz azulada emitida com a radiação. A figura 34 apresenta o mecanismo de funcionamento de uma lâmpada a vapor de mercúrio. Algumas ainda utilizam um fósforo especial em seu revestimento, a fim de alcançar um melhor IRC.

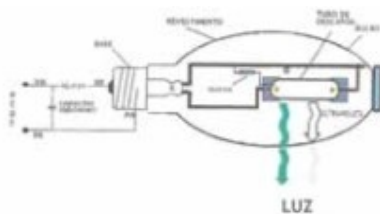


Figura 34- Mecanismo de funcionamento de uma lâmpada a vapor de mercúrio. Fonte: Lâmpadas e Leds – Portal o Setor Elétrico, Ed. 46 – Novembro de 2009

A lâmpada a vapor de mercúrio também opera com um reator cujo objetivo é limitar a corrente e a tensão para seu correto funcionamento. Seu sucesso se deve à expansão da indústria automotiva norte-americana, onde foi muito utilizada. No Brasil, foi largamente aplicada na iluminação pública principalmente durante a década de 1980, mas perdeu espaço para as lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão, especialmente por sua baixa eficiência energética: de 40 a 60 lm/W. Seu IRC também não é dos melhores, alcançando apenas índice de 22 ou, no máximo, 70 com o uso da pintura com fósforo especial. “Uma lâmpada a vapor de mercúrio dá a sensação de pele acinzentada”, diz Charles Corrêa Dias. Sua vida útil média é de 10 mil a 15 mil horas e possui temperatura de cor de 4.000 K.

4.1.5. Mista

A lâmpada mista é uma fonte de luz híbrida, cuja partida é dada por um filamento incandescente instalado dentro de um tubo de descarga com mercúrio como o da lâmpada sob alta pressão com esse mesmo gás. Em diante, seu

mecanismo é o mesmo das lâmpadas fluorescentes e de mercúrio, com a vaporização do gás com radiação ultravioleta convertida em luz visível. A figura 35 apresenta o mecanismo de funcionamento de lâmpada a vapor de sódio.



Figura 35- Mecanismo de funcionamento de lâmpada a vapor de sódio. Fonte: Lâmpadas e Leds – Portal o Setor Elétrico, Ed. 46 – Novembro de 2009

A diferença é que, como o acendimento acontece por incandescência, a lâmpada mista não precisa de reator para seu funcionamento, podendo ser ligada diretamente à rede elétrica, tal qual a incandescente. “É a única facilidade, porque ela é desvantajosa em todos os aspectos se comparada a qualquer outro tipo de lâmpada de descarga”, afirma Silva, que lembra que o IRC deste tipo de lâmpada não ultrapassa 70 e sua vida útil média é de 10 mil horas. A temperatura de cor varia de acordo com os diferentes fabricantes, mas gira em torno de 3.800 K.

4.1.6. Vapor de sódio

Desenvolvida também em meados de 1930, nasceu com o objetivo de superar o rendimento das lâmpadas conhecidas e melhorar a iluminação pública. A idéia deu certo, pois hoje este é o tipo de lâmpada mais utilizado nas ruas do país.

Antes de chegar à tecnologia que conhecida atualmente, Artur H Compton, da Westinghouse, desenvolveu a lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão, cujo tubo de descarga era composto por neônio e argônio e tinha forma de “U”. O circuito de ligação, os catodos aquecidos, o reator e o starter formavam um acionamento parecido com o da lâmpada fluorescente.

Sua luz mais amarelada que nos modelos de alta pressão levava até dez minutos para acender completamente, mas seu rendimento de 180 lm/W a tornou

popular nos anos de 1950 e só saiu de mercado para dar lugar às modernas lâmpadas a vapor de sódio sob alta pressão na década de 1960.

Essas lâmpadas contam com uma mistura de sódio, mercúrio e gases nobres que auxiliam no acionamento da lâmpada, que acontece por meio de um reator e um ignitor que eleva a tensão até 4.500 volts. O desafio dos desenvolvedores da nova fonte de luz, em geral pesquisadores de indústrias de iluminação, foi criar um tubo de descarga que suportasse o alto poder de corrosão do sódio sob as altas pressões e temperaturas necessárias para o funcionamento da lâmpada. Os comuns tubos de quartzo utilizados em outros tipos de lâmpadas não resistiram, surgindo, então, o tubo de descarga de cerâmica.

Apesar de a lâmpada a vapor de sódio de alta pressão comum ser a mais utilizada, ainda existem as do tipo stand by, em que o vapor passa apenas por um tubo de descarga e em caso de queda rápida de energia, outro tubo acende imediatamente com o reabastecimento de eletricidade.

Até o ano 2000 também existia a lâmpada a vapor de sódio de retrofit ou intercambiável, que operava com o mesmo reator da lâmpada a vapor de mercúrio sob alta pressão, reduzindo custos com a troca de lâmpadas em grande escala. Para isso ela possuía um pouco mais de mercúrio em sua composição e tinha um funcionamento diferenciado, em que contava com um tipo de espiral em torno do tubo de descarga com um dispositivo bimetálico semelhante ao starter da lâmpada fluorescente. Quando conectada a uma fonte de energia, o campo elétrico produzido ionizava o tubo e o dispositivo bimetálico esquentava e dilatava, passando a corrente elétrica para a espiral e fazendo a lâmpada iniciar seu acendimento. A figura 36 apresenta o mecanismo de funcionamento de lâmpada a vapor de sódio de retrofit.

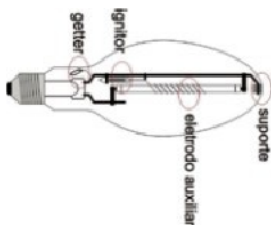


Figura 36- Mecanismo de funcionamento de lâmpada a vapor de sódio de retrofit. Fonte: Lâmpadas e Leds – Portal o Setor Elétrico, Ed. 46 – Novembro de 2009

A lâmpada a vapor de sódio sob alta pressão comum é encontrada em diversos formatos e potências, seu acendimento leva de um a dois minutos e o reacendimento leva menos de 60 segundos. Tem alto rendimento, com 120 lm/W, temperatura de cor de 2.000 K, mas seu IRC é menor que 30. Tem de 18 mil a 32 mil horas de vida mediana, mas o modelo stand by pode chegar ao dobro desse tempo.

4.1.7. Multivapores metálicos

Este tipo de tecnologia também é chamado de lâmpada a vapor de mercúrio com iodetos metálicos justamente por ser uma evolução da lâmpada a vapor de mercúrio sob alta pressão. Foi patenteada no início do século XX por Charles Steinmetz e funciona de forma muito semelhante à vapor de sódio, usando reator e ignitor para alcançar o pulso de partida de até 4.500 volts, mas com a possibilidade de variar a cor da luz de acordo com os tipos de metais nobres vaporizados.

Ela também possui revestimento de cerâmica nas extremidades do tubo de descarga, que reflete o calor produzido para os eletrodos com o objetivo de evitar a condensação dos iodetos dentro do tubo. Ainda existem modelos que possuem eletrodo auxiliar, como nas lâmpadas a vapor de mercúrio, e com ignitor interno do tipo starter, como o encontrado nas antigas fluorescentes.

Assim como as a vapor de sódio, as lâmpadas a vapor metálico podem ser encontradas em vários formatos e costumam ser aplicadas em locais que necessitam de grande fluxo luminoso, com boa reprodução de cores, possui IRC acima de 90, e eficiência energética (rendimento de 100 lm/W), como shoppings, indústrias e lojas. Tem vida útil média de 12 mil horas e temperatura de cor entre 3.000 K e 5.200 K. A figura 36 apresenta o Mecanismo de funcionamento de lâmpada a vapor metálico com tubo cerâmico.



Figura 37- Mecanismo de funcionamento de lâmpada a vapor metálico com tubo cerâmico. Fonte: Lâmpadas e Leds – Portal o Setor Elétrico, Ed. 46 – Novembro de 2009

As lâmpadas à vapor metálico (figura 38) conquistaram mercado após sua aplicação nas Olimpíadas de Munique, na Alemanha, em 1972, quando o mundo todo estava com a atenção voltada para o evento e pôde conhecer a nova tecnologia.



Figura 38- Lâmpada a vapor de sódio. Fonte: Lâmpadas e Leds – Portal o Setor Elétrico, Ed. 46 – Novembro de 2009

A lâmpada a vapor de sódio de retrofit ou intercambiável que operava com o mesmo reator da lâmpada a vapor de mercúrio sob alta pressão, reduzindo custos com a troca de lâmpadas em grande escala

4.2. Iluminação com lâmpadas fluorescentes e incandescentes

Com a promulgação da Portaria nº 1007, de 31 de dezembro de 2010 as lâmpadas incandescentes vem perdendo um maior destaque na sua utilização para entrada em maior escala das lâmpadas fluorescentes. Os modelos que mais substituem as lâmpadas convencionais incandescentes são as fluorescentes tubulares, mas também existe uma grande quantidade de fluorescentes compactas.

Sua utilização passou a ganhar destaque após o apagão de 2002 ocorrido no Brasil, onde foi necessário a implementação de tecnologias a fim de garantir o uso dos recursos de forma racional visto que o país passava por uma crise energética.

Como todas as lâmpadas de descarga, as lâmpadas fluorescentes compactas necessitam de um reator que pode ser eletromagnético ou eletrônico, de acordo com o tipo de lâmpada para seu funcionamento e a sua utilização só foi possível após o desenvolvimento de tecnologias que permitissem a instalação do reator diretamente no corpo da lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes compactas têm algumas particularidades quanto a sua construção, eficiência luminosa, potência e utilização.

Desde então as lâmpadas fluorescentes vem ganhando mais espaço no mercado e a utilização das incandescentes em projetos são apenas em casos específicos onde se necessita de um índice de reprodução de cor igual a 100, visto que, as fluorescentes conseguem chegar no máximo a 90.

4.3. Iluminação empregando LEDs

Até a ultima década os diodos emissores de luz, eram apenas utilizados em aparelhos eletrônicos, como lanternas, televisões etc. Nos últimos anos o sistema de iluminação a LED vem ganhando destaque em sua utilização para iluminação decorativa, externa de prédios, residências, indústrias e até iluminação urbana.

O sistema de iluminação a LED pode ser considerada a terceira geração de lâmpadas, sendo a primeira as incandescentes e a segunda geração as fluorescentes, trazendo economias substanciais nos gastos com energia e manutenção das instalações.

A tecnologia da lâmpada LED é bem diferente das outras lâmpadas, o material utilizado na fabricação destas é semicondutor, mesma tecnologia utilizada em chips de computadores. Uma pequena corrente elétrica que circula neste dispositivo faz com que o mesmo emita luz.

Tem se como resultado um dispositivo com uma alta durabilidade, comparado com as outras lâmpadas de primeira e segunda geração. Sua vida útil varia em torno de 20.000 horas podendo chegar até 100.000 horas de uso ininterrupto.

Comparada com a tecnologia de primeira geração (lâmpadas incandescentes), estas convertem 10% da energia elétrica em luminosa e 90% em térmica enquanto a lâmpada a LED chegam a converter até 40%. MASCIA (2011)

A gestão de temperatura (refrigeração) é, sem dúvida, o ponto de maior interesse específico no desenvolvimento de luzes à LED de elevada qualidade. Dependendo do desempenho do LED, 25 a 30% da energia são convertidos em luz visível e 70 a 75% são convertidos em calor no interior do componente (dissipação).

Comparação: as lâmpadas fluorescentes emitem cerca de 25% da energia convertida em forma de luz visível. A diferença reside no fato de, na iluminação fluorescente, cerca de 40% da energia serem emitidos em forma de radiação infravermelha ou de calor, já lâmpadas incandescentes, estas convertem 10% da energia elétrica em luminosa e 90% em calor.

Com exceção do LED, todas as lâmpadas do mercado emitem raios ultravioletas e infravermelhos. Por esse motivo, o LED pode ser utilizado em iluminação de destaque, pois não danifica roupas, obras de arte, plantas, e demais objetos. Além disso, reduz os impactos causados à camada de ozônio e não prejudica a saúde dos que estão expostos a ele.

Os LEDs de luz branca cada vez mais potentes e com dimensões menores, maiores eficácia luminosa, confiabilidade, resistência térmica, vida útil, além de características fotométricas mais adequadas para aplicações em que atualmente se empregam lâmpadas convencionais com filamento ou a descarga de vapores.

Pode-se dizer que, com o ritmo atual de desenvolvimento, o grande desafio não é de natureza técnica, mas sim econômica. Assim como todos os produtos envolvendo o emprego de componentes de estado sólido experimentaram reduções brutais de preços para o consumidor final, os LEDs deverão também trilhar este caminho, competindo com as lâmpadas convencionais em qualidade e preço.

A cada ano, novas conquistas são anunciadas em termos de produtos e sistemas à base de LEDs, superando as expectativas de especialistas da área de desenvolvimento tecnológico e confirmando o prognóstico de que os LEDs são as

fontes de luz que dominarão o mercado da iluminação num futuro cada vez mais próximo.

5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será feito um relato da Sociedade Beneficente Israelita Brasileira Hospital Albert Einstein, unidade Morumbi, em São Paulo, Brasil, no ano 2012, que atualmente conta com 600 leitos e cerca de 221,5 mil m² de área construída

5.1. Apresentação do Hospital Israelita Albert Einstein

Apesar da precariedade do sistema de saúde brasileiro, muitos dos hospitais, inclusive públicos, se destacam como centros de excelência internacional em tratamentos de alta complexidade. Atualmente, existem 18 instituições públicas e privadas que possuem a mais importante certificação hospitalar do mundo, concedida pela Joint Commission International (JCI). Mantido pela Sociedade Judaica o Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE) é um dos principais centros de saúde da América Latina. Considerado um dos seis hospitais de excelência do país pelo Ministério da Saúde.

O nascimento da Sociedade Beneficente Israelita Brasileira Albert Einstein (SBIBAE), na década de 50, resultou do compromisso da comunidade judaica em oferecer à população de nosso país uma referência em qualidade da prática médica.

Mas a Sociedade queria ir além da simples construção de um hospital. E assim foi feito, construído com recursos provenientes de doações e do trabalho de um grupo de pessoas dedicadas, o Hospital Israelita Albert Einstein foi inaugurado em 1971. A partir de então tornou-se referência em tratamentos com tecnologia de ponta e atendimento humanizado e expandiu suas fronteiras com ações de responsabilidade social e atividades de ensino e pesquisa.

Em 2006, a SBIBAE iniciou um plano de expansão. O projeto prevê dobrar o tamanho das instalações da Unidade Morumbi. Essa iniciativa busca responder às crescentes taxas de ocupação, ao aumento do número de pacientes externos e adaptar a infra-estrutura do HIAE às exigências das modernas tecnologias, à nova realidade da prática médica e aos mais rigorosos requisitos de qualidade no atendimento.

5.2. Sustentabilidade Einstein

Desenvolver suas atividades sem comprometer as gerações futuras, provendo o melhor para as pessoas e para o meio ambiente. Esse é o princípio da sustentabilidade empresarial e uma das prioridades estratégicas da Sociedade Beneficente Israelita Brasileira Albert Einstein.

O Programa Einstein de Sustentabilidade conta com inúmeras iniciativas, focadas na reciclagem, na gestão do desperdício alimentar, uso racional da água, da energia, descarte adequado de materiais eletrônicos, pilhas e baterias, entre outras.

Em 2011 o Einstein delimitou seu Plano Diretor de Sustentabilidade que está alinhado com a crescente preocupação com a melhoria do uso dos recursos naturais no meio hospitalar. O Plano Diretor de Sustentabilidade aborda 30 temas com mais de 90 diretrizes voltados para área de construção, alimentação, centro cirúrgico, água, gás natural, energia elétrica, etc. Com estas ações o Hospital Albert Einstein busca reduzir seus impactos ao meio ambiente, ser referência em novas tecnologias aplicadas a gestão de insumos e novos produtos voltados para o ambiente hospitalar.

Em recentes estudos, o Einstein mostrou que é possível crescer em área e atendimento hospitalar sem aumentar seu consumo. O Pavilhão Vicky e Joseph Safra (figura 39) edifício do Hospital Albert Einstein na Unidade Morumbi recebeu a certificação LEED GOLD, criada pelo U.S. Green Building Council e verificada pelo Green Building Certification Institute (GBCI), que reconhece e certifica projetos, construções e operação de edifícios sustentáveis (verdes) de alto desempenho.

Os projetos destes edifícios consideram, desde o início, a proteção do ambiente em torno dos mesmos. Devem garantir a proteção ambiental, não produzir poluição luminosa, acústica, térmica ou atmosférica no seu entorno. Reduzem o consumo da água, através de sistemas de restrição racional do seu uso, como em descargas de peças sanitárias, reduzem o volume de esgoto, com aproveitamento integral das águas pluviais e reutilização das águas servidas. A criação de jardins nas coberturas dos edifícios permite reduzir o calor no seu interior, diminuir o volume de águas pluviais levadas ao sistema de esgotos, sendo estas filtradas,

armazenadas e utilizadas para irrigação de plantas, limpeza de pisos, resfriamento de sistemas de ar condicionado e reserva para combate a incêndios.

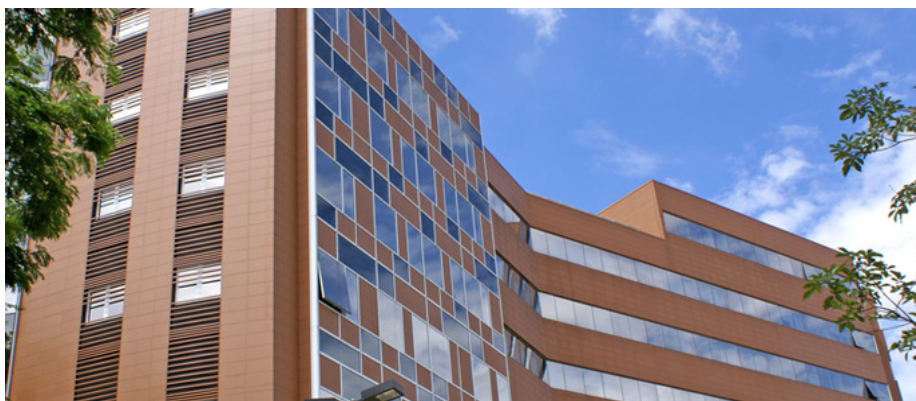


Figura 39: Pavilhão Vicky e Joseph Safra LEED Gold. Fonte: www.einstein.br

Com a construção de um edifício verde a Sociedade Beneficente Israelita Brasileira Albert Einstein também colabora com a difusão dos conceitos da sustentabilidade, já que o ambiente construído influencia as atividades e a cultura de seus funcionários, pacientes, médicos, fornecedores e moradores da região, ajudando a garantir o futuro do planeta para as próximas gerações.

5.3. Estudo de um ambiente hospitalar

A iluminação tem o poder de gerar sensações de bem-estar e de desconforto, causar estados de atenção e sonolência, além de ser utilizada para a cura de doenças. Nas redes de saúde, uma luminosidade de boa qualidade, atentando para os adequados níveis de lux emitidos em cada ambiente e fazendo uso de tecnologias eficientes, é primordial, pois os sistemas permanecem ligados por muitas horas seguidas nos hospitais.

Para proporcionar uma luminosidade agradável aos pacientes e reduzir custos com manutenção e consumo de energia elétrica, o Hospital Albert Einstein tem investido na iluminação à LEDs, muito apropriados para este tipo de aplicação, começando pela Unidade Morumbi.

Em junho 2012, o Hospital começou a instalação de iluminação a LED nas passarelas e corredores, além de fazer uso de automação com reaproveitamento da luz natural. Até o momento, foram retrofitados 77.950m² de área, que corresponde a

35 % da área total do Hospital do Morumbi (gráfico 1), constituída por passarelas, corredores e hall de elevadores e garagens. Anteriormente, o complexo hospitalar contava com lâmpadas fluorescentes, as quais agora estão sendo trocadas gradativamente por LEDs, sobretudo porque trazem um excelente ganho financeiro para a instituição.

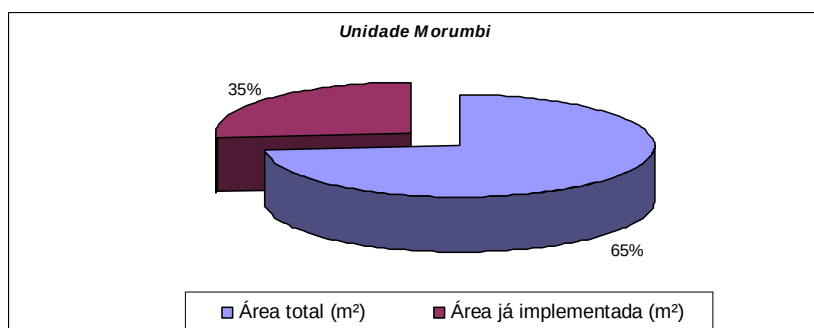


Gráfico 1- Área com iluminação LED. Fonte: Engenharia HIAE 2012.

A iniciativa de implantar o novo sistema de iluminação partiu da equipe de engenharia de projetos e obras do próprio Hospital, da qual participaram do projeto Antonio Carlos Cascão, diretor de engenharia e manutenção; Gustavo de Almeida dos Santos, coordenador de projetos, e Bruna Sarti, engenheira mecânica.

Futuramente, pretende-se retrofitar toda a instituição, todas as unidades, dentro de pelo menos três anos. Esta é apenas uma estimativa, porque é complicado afirmar com precisão o tempo correto, uma vez que há muitas limitações, que envolvem programar os trabalhos para áreas específicas, como por exemplo, apartamentos, centro cirúrgico, entre outros fatores.

A finalidade do projeto foi promover eficiência energética e maior vida útil dos equipamentos, principalmente nas áreas de difícil acesso (áreas de grande circulação) de manutenção.

Antes do retrofit, o Hospital possuía cerca de 6.200 lâmpadas fluorescentes compactas, e passou a ter aproximadamente 2.500 lâmpadas LED.

Com o uso de lâmpadas fluorescentes compactas o consumo médio era de 16,55 W/m², ao passo que com a iluminação a LED, este valor caiu para 4,42 W/m², o que pode ser traduzido em uma redução de quase 70%. Ademais, a potência

instalada anterior era de 174 MW, sendo que a potência instalada com LED é de 50 MW.

O gráfico 2 apresenta economia equivalente anual acumulada ao longo dos meses de implementação da iluminação LED, pois o trabalho foi gradativo e corresponde a, apenas, uma parte da área total do hospital. Estima-se que em três anos todas as unidades do Hospital Albert Einstein.

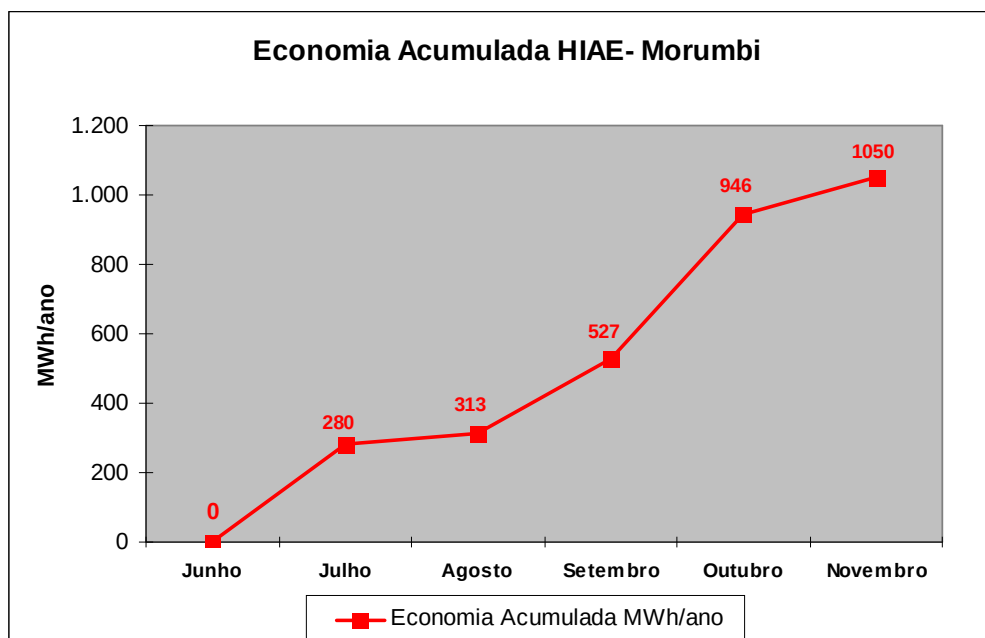


Gráfico 2- Economia equivalente anual acumulada ao longo dos meses de implementação da iluminação LED. Fonte: Engenharia HIAE 2012.

A tabela 1 apresenta, ao longo dos meses que o trabalho se desenvolveu, as economias anuais obtidas, de acordo o respectivo percentual de área implementada.

Mês de instalação	Pot inst antes (W)	Pot inst depois (W)	(m²)	% de área implementada	w/m² antes	w/m² depois	(kWh/ano)
Junho	48.396	11.516	5.340	2,4%	9,06	2,16	280.042
Julho	5.355	1.637	2.885	1,3%	1,86	0,57	32.573
Agosto	33.984	10.095	12.528	5,7%	2,71	0,81	214.438
Setembro	68.966	21.138	44.744	20,2%	1,54	0,47	418.979
Outubro	17.172	5.263	12.456	5,6%	1,38	0,42	104.321
Total	173.873	49.648	77.953	35,2%	16,55	4,42	1.050.352

Foram utilizadas lâmpadas de LED de 8W a 56W, que variam de acordo com a área, chegando ao menor nível possível de W/m² e respeitando a NBR 5413. Assim, o projeto atende ao índice de iluminação e também consegue ser eficiente energeticamente.

A área total das passarelas (figura 40 e 41) corresponde a 649,62m². O consumo médio com fluorescentes era de 9,62 W/m², e com LED, passou para 2,97 W/m², o que representa uma redução de 69%. Nas passarelas, foi gerada uma economia de 113,85 kWh/dia, ou ainda, 41,5 MWh/ano, o equivalente ao consumo anual de 15 famílias de baixa renda.



Figura 40: Passarelas de interligação. Fonte: www.einstein.br



Figura 41: Passarelas de interligação. Fonte: Engenharia HIAE 2012.

Uma vez que a iluminação é o segundo maior consumidor em edifícios a redução de consumo pode ser feita utilizando a fonte de luz mais “limpa” e barata, ou seja, o sol. Além do uso de LEDs, o local conta com reaproveitamento da iluminação natural, utilizando relê fotoelétrico nas áreas onde há incidência da luz solar. Durante o dia, quando há iluminação natural suficiente, a luminária desliga e aproveita a incidência da luz. A luz solar nas passarelas tem um aproveitamento médio de 10 horas/dia, compreendendo basicamente o período das 7h30 às 17h30. O consumo diário com lâmpadas fluorescentes, que era de 150 kWh/dia, com LED passou para 46,32 kWh/dia, e com o LED + automação, este valor foi baixado para 36,15 kWh/dia, o que significa uma redução total de 76%.

A instalação de iluminação a LED e automação com reaproveitamento da luz natural no HIAE - Morumbi trouxe uma economia de 1 GMWh/ano, equivalente ao consumo de todo o complexo Morumbi por 9,5 dias, ou seja, o mesmo que desligar toda a energia elétrica do complexo por 9,5 dias.

5.4. Correlação entre os dados encontrados e a NBR 5413

A norma NBR 5413 - Iluminância de interiores estabelece os valores de iluminância média mínimas em serviços para iluminação artificial de interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras.

5.5. Demonstrativo de viabilidade técnica e econômica

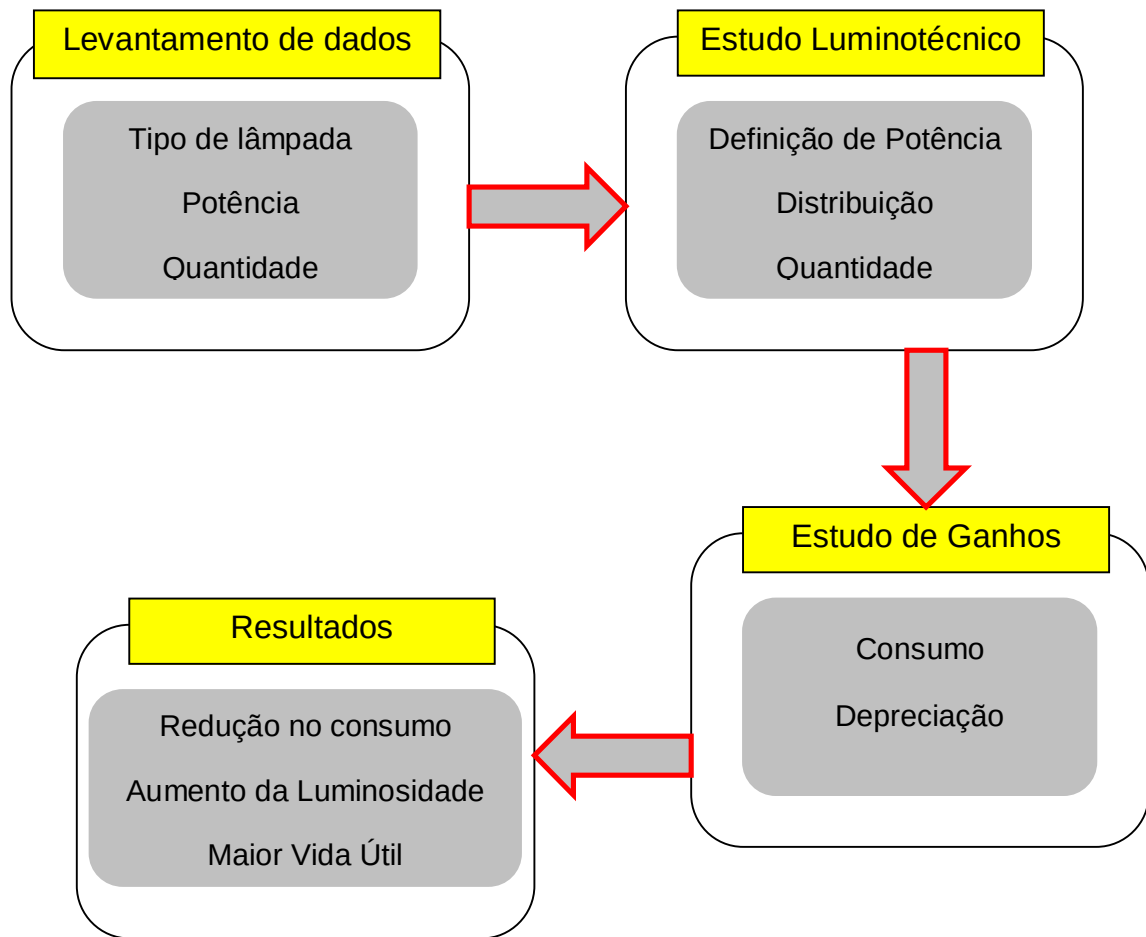
A primeira etapa no processo de estudo de eficiência energética em iluminação é o levantamento de dados. Para o estudo de ganhos energéticos é necessário conhecer as instalações, levantar qual o tipo de lâmpada existente, a potência e quantidade no ambiente estudado.

A segunda etapa é o estudo luminotécnico, é necessário definir a potência da lâmpada LED a ser instalada, a disposição no ambiente e quantidade a ser instalada. Nesta etapa são necessários cálculos luminotécnicos ou simulação em software.

A terceira etapa é o estudo de ganhos, comparando os consumos da tecnologia de iluminação antiga com a tecnologia LED. É interessante comparar a depreciação entre as duas tecnologias.

A quarta etapa são os resultados, que podem ser analíticos, apenas calculado, ou experimental, pode-se realizar a instalação da nova tecnologia LED e levantar dados em campo. Pode-se comparar o consumo elétrico, o índice de luminosidade e a diferença na vida útil.

O fluxo a seguir demonstra o processo adotado pela Equipe e Engenharia do Hospital Albert Einstein para o projeto de iluminação à LED.



A figura a 42 mostra o corte dos edifícios do Hospital Albert Einstein- Unidade Morumbi.

Fonte: Engenharia HIAE 2012.

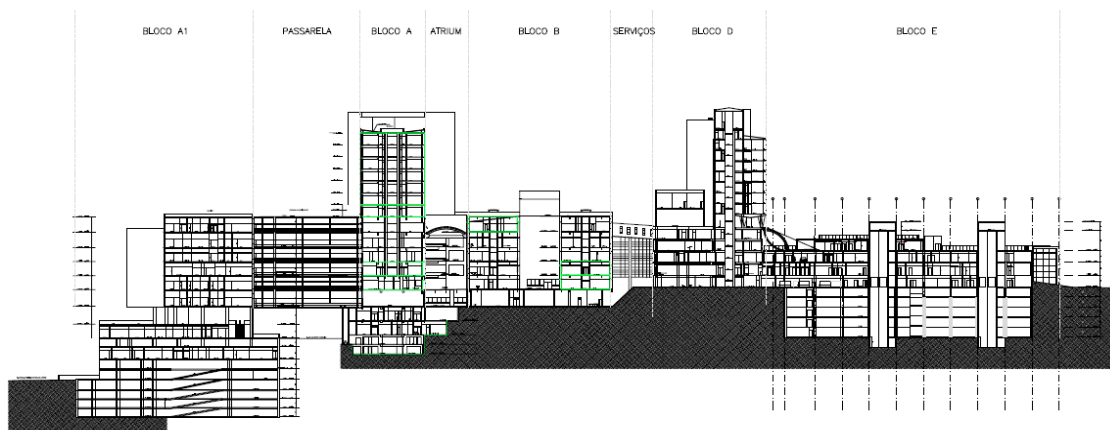


Figura 42- Corte dos edifícios do complexo hospitalar do Morumbi. Fonte: Engenharia HIAE 2012.

5.6. Metodologia de cálculo analítico

Para o cálculo da redução no consumo no estudo de ganhos é necessário calcular a diferença entre a potência do sistema de iluminação utilizado e o sistema de iluminação LED no ambiente analisado, conforme a equação 7.0.

$$Re = \sum_1^n [(P_e * QL_e) - (P_{LED} * QL_{LED})] \quad \text{Equação 7.0}$$

Onde:

Pe: Potência da lâmpada existente no ambiente estudado (W);

QLe: Quantidade de lâmpadas existentes no ambiente estudado;

PLED: Potência da lâmpada LED a ser instalada no ambiente (W);

QLLED: Quantidade de lâmpadas LED a serem instaladas no ambiente.

Re: Redução no consumo (W/h)

A redução anual pode ser calculada pelo produto entre a redução no consumo (Re) pelo número de horas que, em média, o sistema permanece ligado anualmente. Para este caso, os ambientes analisados permanecem ligados 24 horas por dia e 365 dias por ano. Assim, tem-se na equação 8.0.

$$Ra = \sum_1^n \left(\frac{Re * 24 * 365}{1000} \right) \quad \text{Equação 8.0}$$

Onde:

Ra: Redução no consumo anual (W/h)

Re: Redução no consumo (W/h)

- Divide-se pelo quociente 1000 para ser ter a unidade convertida em kWh/ano

6. CONCLUSÕES

6.1. Eficiência energética

O contexto Eficiência Energética teve início na década de 1970 durante a crise do petróleo. Já no final do ano de 1980 esta passou a ser uma preocupação mundial, onde já era observado os impactos causados pelas emissões de poluentes e queima de combustíveis. As fontes de energia convencionais se caracterizam pelo baixo custo, grande impacto ambiental e tecnologia difundida e a alternativa surge para que se consiga diminuir o impacto-ambiental. Essas fontes podem ser distintas quando faladas em energia renovável e não-renovável.

A energia renovável é uma energia extraída por fontes naturais e é capaz de se regenerar e a não-renovável é a que encontramos na natureza em quantidades restritas e que pode ser extinta devido o uso irracional.

Eficiência energética é uma atividade que procura otimizar o uso das fontes de energia, ou seja, a eficiência resume-se na busca de menor quantidade de energia para o fornecimento da mesma quantidade de valor energético.

A eficiência energética e as energias renováveis são os pilares da política energética sustentável.

Segundo o Governo do Estado do Rio de Janeiro, qualquer atividade em uma sociedade moderna só é possível com o uso de uma ou mais formas de energia. A energia é empregada intensamente na sociedade em geral e em tudo o que se faz. Surge então a necessidade de utilizá-la de modo inteligente e eficaz e entre as suas diferentes formas interessam em particular, aquelas que são processadas pela sociedade e colocadas à disposição dos consumidores onde e quando necessárias, e entre estas citamos a energia elétrica. Podemos afirmar com segurança que a energia elétrica é vital ao bem-estar do ser humano e ao desenvolvimento econômico no mundo contemporâneo. A racionalização do seu uso possibilita melhor qualidade de vida, gerando conseqüentemente, crescimento econômico, emprego e competitividade. Uma Política de Ação referente à Eficiência Energética tem como meta o emprego de técnicas e práticas capazes de promover os usos

“inteligentes” da energia, reduzindo custos e produzindo ganhos de produtividade e de lucratividade, na perspectiva do desenvolvimento sustentável.

O que nota-se no estudo de caso apresentado é que o conceito de eficiência energética é realmente utilizado, pois diante dos valores apresentados é possível verificar os ganhos obtidos.

Todo trabalho para uma iluminação mais eficiente deve iniciar no seu projeto e deve ser estudado a melhor forma de distribuição e a correlação entre os níveis de iluminância de cada ambiente em relação a norma, o fator depreciação deve ser utilizado de modo racional a fim de não se encontrar valores muito discrepantes em relação aos valores mínimos e máximos a fim de iniciarmos com valores muito altos para posteriormente atingirmos os valores médios. Observar-se que os valores devem ser respeitados a fim de garantir a execução das atividades em cada ambiente a fim de trazer o conforto a cada ambiente.

Além da execução do projeto, também se faz necessário uma política de manutenção periódica, para que a iluminação do ambiente permaneça ideal ao longo do seu ciclo de vida.

6.2. Aspectos Ambientais

Segundo dados da Apliquim, no Brasil são descartadas cerca de 70 milhões de lâmpadas fluorescentes. Mas o grande problema desta estatística, é que uma lâmpada fluorescente contém, em média, 10 mg de mercúrio e quando quebrada emite vapores de mercúrio que são absorvidos pelos organismos vivos, contaminando-os.

Uma única lâmpada pode contaminar 20 mil litros de água, atingindo solos e provocando diversos males à saúde. E outra estatística ruim é que apenas 6% destas lâmpadas são descartadas corretamente. Logo um impasse é estabelecido na relação entre meio ambiente e lâmpadas fluorescentes, pois da mesma maneira que economizam energia, elas geram lixo tóxico.

Além da economia de energia elétrica e ausência de emissão de raios ultravioletas e infravermelhos, o LED é considerado ecologicamente correto, pois não contém metais pesados em sua composição. Sendo assim, pode ser descartado

como lixo comum. Além disso, 98% dos materiais que compõem as luminárias de LED são recicláveis.

O crescimento das vendas de LEDs aumenta a cada ano e será o responsável por uma revolução no sistema de iluminação, pois não haverá apenas redução no consumo de energia, mas sim, no descarte de produtos com o passar dos tempos. Hoje quando se fala em retrofit de iluminação, não se deve levar em conta apenas o que está sendo comprado hoje, mas sim, o que será realmente esta deixando de empregado para instalação da nova tecnologia.

A simples substituição de uma lâmpadas que contem mercúrio por uma lâmpadas à LED reduz o risco de contaminação do meio ambiente por metais pesados.

A tecnologia de iluminação à LED é a solução encontrada não só para a redução do consumo de energia, mas também uma forma para evitar a poluição de aterros sanitários, águas e solo por metais pesados.

A tabela abaixo demonstra a quantidade média de mercúrio presente em cada tipo de lâmpada, vale lembrar que estes valores correspondem a uma unidade, ou seja, este é o impacto de uma simples lâmpada na natureza.

Apesar do mercúrio possuir um valor baixo, a preocupação está voltada para a quantidade de lâmpadas que são produzidas, segundo dados da Apliquim de todo consumo de lâmpadas no Brasil apenas 2 á 4 % são reciclados, o restante é descartado de forma irregular, principalmente em aterros sanitários, trazendo um grande risco de contaminação ao solo pelo depósito de materiais pesados.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NBR 5382: 1985 – Verificação de Iluminância em interiores.

NBR 5413: 1992 – Iluminância de interiores.

BARBOSA, L. A. G. **História e Conceitos de Iluminação: Material didático de apoio à disciplina.** Universidade Estácio de Sá. Rio de Janeiro, 2007.

BOSSI, A.; SESTO, E. **Instalações Elétricas VOL.2.** 6. ed. Hemus. Curitiba, 2002.

CERVELIN, S. **Melhoria da eficiência luminosa.** Programa de Pós-Graduação UFSC. Florianópolis, 2002.

CREDER, H. **Instalações Elétricas.** 13. ed. LTC. Rio de Janeiro, 1996.

DA SILVA, L. M. **LED – A luz dos novos projetos.** Ciência Moderna. São Paulo, 2012.

GUERRINI, P. D. **Iluminação - Teoria e Projeto.** 2. ed. Érica. São Paulo, 2007.

ZUKAUSKAS, A; SHUR, M. S; CASKA, R. **Introduction to Solid-State Light.** John Wiley & Sons, 2002.

MALVINO, A. P. **Eletrônica- volume I.** McGraw Hill. São Paulo, 1987.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas.** 5. ed. LTC. Rio de Janeiro, 1997.

GE ILUMINAÇÃO. **Guia de Consulta Técnica.** Rio de Janeiro, 2002.

ITAIM ILUMINAÇÃO. **Catálogo Geral de Produtos 2008 .** São Paulo, 2008.

ITAIM ILUMINAÇÃO. **Guia de Referência.** São Paulo, 2008.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. São Paulo, 2006.

PHILIPS. **Guia de Iluminação**. São Paulo, 2004.

PHILIPS. **Catálogo Geral Luminárias** 2008. São Paulo, 2007.

DEMAPE. **Reatores para iluminação**. São Paulo, 2007.

FREITAS, L. **A era dos LEDs**. Revista Lumière. Ed n. 143, mar. 2010.

SOUZA, R. V. G.; LEITE, P. R.; SOARES, C. P. S. **Iluminação LED**. Revista Lumière. Ed n. 159, jul. 2011.

WILTGEN, J. **Os hospitais de excelência do Brasil**. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/noticias/os-hospitais-de-excelencia-do-brasil?p=2#link>>. Acessado em: 22 ago. 2012, 12:30:00.

Goeking, W. **Lâmpadas e Leds – Portal o Setor Elétrico**. Disponível em <<http://www.osetoelettrico.com.br/web/component/content/article/58-artigos-e-materias-relacionadas/176-lampadas-e-leds.html>>. Acessado em: 22 ago. 2012, 11:30:00.

Einstein, H. A. **Sustentabilidade**. Disponível em <<http://www.einstein.br/sobre-a-sociedade/sustentabilidade>>. Acessado em: 22 ago. 2012, 11:45:00.

TRAMPPO G, S. L. **Mercúrio presente nos principais tipos de lâmpadas**. Disponível em <<http://www.tramppo.com.br/index2.php?local=41>>. Acessado em: 09 nov. 2012, 10:30:00.

SALES, P. R. **Led, o novo paradigma da iluminação pública**. Disponível em <<http://www.lactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/RobertoSales.pdf>>. Acessado em: 19 nov. 2012, 10:30:00.

VIEIRA, C. I. **Projeto de um conversor Flyback auto-oscilante de baixo custo para LED's de potência.** Disponível em <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8CUGXG/307m.pdf?sequence=1>>. Acessado em: 19 nov. 2012, 14:40:00.

PINTO, A. R. **Projeto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando diodos emissores de luz (LEDs).** Disponível em <http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/7/TDE-2009-02-12T120630Z-1881/Publico/RAFAELADAIPEPINTO.pdf>. Acessado em: 10 nov. 2012, 19:50:00.

MASCIA, R. A. **Estudo comparativo entre lâmpadas fluorescentes e lâmpadas incandescentes, considerando a viabilidade econômica.** Disponível em <<http://cursos.unipampa.edu.br/cursos/engenhariaeletrica/files/2011/11/Antonio-Repiso-Mascia-Estudo-Comparativo-entre-Lâmpadas-Fluorescentes-Compactas-e-Lâmpadas-Incandescentes-Considerando-a-Viabilidade-Econômica1.pdf>>. Acessado em: 05 nov. 2012, 19:50:00.

FIORINI, S. M. T. **Projeto de iluminação de ambientes internos especiais.** Disponível em <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/interiores/projeto_de_iluminacao_de_ambientes_internos_especiais.pdf>. Acessado em: 12 nov. 2012, 00:50:00.

APLIQUIM, B. R. **Reciclagem de lâmpadas incandescentes.** Disponível em <<http://www.apliquimbrasilrecicle.com.br/reciclalampadas>>. Acessado em: 05 nov. 2012, 22:45:00.

Governo do Estado do Rio de Janeiro - Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão, pg 3, 2007. **POLÍTICA DE AÇÃO: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.** Disponível em <<http://download.rj.gov.br/documentos/10112/157728/DLFE12497.pdf/cartilhaseplag.pdf>>. Acessado em: 08 nov. 2012, 07:10:00.

CORBIOLI, N. **A luz é preciosa.** Disponível em <<http://www.arcoweb.com.br/>>

lighting/tecnologia-e-iluminacao-economizar-energia-06-06-2001.html>. Acessado em: 15 nov. 2012, 18:22:00.

Ministério de Minas e Energias. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>>. Acessado em: 10 nov. 2012, 16:10:00.