

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ILUMINAÇÃO COM LEDs:  
ALTERNATIVA DE SUBSTITUIÇÃO DA INSTALAÇÃO  
EXISTENTE DA SUBESTAÇÃO JATAÍ.**

**EDUARDO SANTOS NOGUEIRA**



RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

FEVEREIRO DE 2011.

**ILUMINAÇÃO COM LEDs:  
ALTERNATIVA DE SUBSTITUIÇÃO DA INSTALAÇÃO EXISTENTE DA  
SUBESTAÇÃO JATAÍ.**

Eduardo Santos Nogueira

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

Aprovada por:

---

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

---

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph.D.

---

Prof. José Carlos de Oliveira, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
FEVEREIRO DE 2011.

À minha família que,  
com muita sabedoria, soube guiar meus caminhos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida, me demonstrando a cada dia que a vida deve ser vivida intensamente com o amor.

A minha família, que me educou e sempre me deu a oportunidade de estudar, me ensinado que a única coisa que as pessoas nunca poderiam me tirar é o conhecimento.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado nesta caminhada.

## RESUMO

Este trabalho apresenta duas alternativas de iluminação, baseadas na tecnologia LED, para a substituição de iluminação convencional a Vapor de Sódio, em uma subestação. Avalia todos os equipamentos da instalação existente, com base nos conhecimentos teóricos e propõe a primeira alternativa com blocos autônomos de iluminação a LED, com alimentação por fotovoltaica, trabalhando com os equipamentos disponíveis no mercado, de forma que seja possível a implantação da mesma. São avaliados os custos de cada equipamento, justificando a viabilidade de sua aplicação. A segunda proposta de iluminação mescla a iluminação a LED da primeira proposta com a alimentação através da rede elétrica da instalação atual, mostrando as vantagens diante das outras.

**Palavras-chave:** Iluminação, LED, Eficiência energética.

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Origem do trabalho.....	2
1.2	Importância do trabalho.....	2
1.3	Objetivos .....	2
1.4	Estrutura do trabalho.....	3
2	ILUMINAÇÃO.....	5
2.1	Definições.....	5
3	EQUIPAMENTOS.....	14
3.1	Lâmpadas.....	14
3.1.1	Incandescente .....	14
3.1.2	Lâmpadas de descarga .....	15
3.1.3	LED .....	19
3.1.4	Reatores.....	24
3.1.5	Luminárias.....	25
3.2	Tendência Mundial .....	33
4	ANÁLISE DOS EQUIPAMENTOS INSTALADOS.....	35
4.1	Levantamento.....	35
4.1.1	Avaliação Técnica .....	37
4.1.2	Avaliação Econômica .....	41
5	ALTERNATIVA DE ILUMINAÇÃO 1 .....	46
5.1	Equipamento .....	47
5.1.1	Luminária.....	50
5.1.2	Painel Fotovoltaico .....	53
5.1.3	Bateria.....	53
5.1.4	Controladores de Carga .....	54

5.2	Avaliação Econômica .....	55
6	ALTERNATIVA DE ILUMINAÇÃO 2 .....	57
6.1	Avaliação Econômica .....	58
7	RESULTADOS.....	61
8	CONCLUSÃO .....	65
8.1	Trabalhos Futuros .....	66
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1:	Classificação das luminárias quanto ao direcionamento do fluxo luminoso.	32
TABELA 2:	Potência elétrica instalada – Iluminação a Vapor de Sódio.	35
TABELA 3:	Custo de aquisição das luminárias a Vapor de Sódio.	42
TABELA 4:	Custo de aquisição dos condutores.	42
TABELA 5:	Custo anual de aquisição das luminárias a Vapor de Sódio.	44
TABELA 6:	Custo de aquisição das luminárias LED, painéis fotovoltaicos e baterias.	55
TABELA 7:	Custo anual de aquisição das luminárias LED, painéis fotovoltaicos e baterias.	56
TABELA 8:	Custo de aquisição das luminárias LED.	58
TABELA 9:	Potência elétrica instalada – Iluminação a LED.	59
TABELA 10:	Custo anual de aquisição das luminárias LED e cabeamento.	60
TABELA 11:	Comparativo das luminárias.	61



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1:	Fluxo Luminoso.	5
FIGURA 2:	Intensidade Luminosa.	6
FIGURA 3:	Curva de Distribuição Luminosa (Isocandela).	7
FIGURA 4:	Iluminância.	8
FIGURA 5:	Luminância.	8
FIGURA 6:	Energia espectral dos radiadores integrais, segundo a lei de Planck	9
FIGURA 7:	Efeito da TCC nas cores dos objetos.	10
FIGURA 8:	IRC de 85%.	11
FIGURA 9:	IRC de 100%.	11
FIGURA 10:	Depreciação do fluxo luminoso.	13
FIGURA 11:	Lâmpada a Vapor de Sódio.	18
FIGURA 12:	Zona Vazia.	20
FIGURA 13:	Polarização Direta.	21
FIGURA 14:	Polarização Inversa.	21
FIGURA 15:	LED.	22
FIGURA 16:	Estrutura da luminária.	26
FIGURA 17:	Luminária com aletas.	27
FIGURA 18:	Luminária Direta.	28
FIGURA 19:	Luminária Semi-direta.	29
FIGURA 20:	Luminária Direta-indireta.	29
FIGURA 21:	Luminária Indireta.	30
FIGURA 22:	Luminária Semi-indireta.	31
FIGURA 23:	Luminária Difusa.	31
FIGURA 24:	Esboço dos tipos de luminárias.	32
FIGURA 25:	Ginásio aquático Water Cube – Pequim: Flexibilidade da iluminação a LED.	34
FIGURA 26:	Subestação Jataí – Pontos de iluminação.	36
FIGURA 27:	Detalhes da luminária PR-17 da Tecnowatt.	38

FIGURA 28:	Curva de distribuição luminosa da luminária PR-17 da Tecnowatt.	38
FIGURA 29:	Luminária ZE-107/1 da Reeme.	40
FIGURA 30:	Reator de alto fator de potência da Philips.	41
FIGURA 31:	Luminária LED de 30W, substituta de lâmpada incandescente de 150W.	46
FIGURA 32:	Poste autônomo de iluminação a LED, com energia fotovoltaica.	46
FIGURA 33:	Iluminação de rodovia com luminárias LED e energia fotovoltaica.	46
FIGURA 34:	Iluminação de orla marítima com luminárias LED e energia fotovoltaica.	47
FIGURA 35:	Diagrama de blocos do conjunto.	48
FIGURA 36:	Diagrama esquemático do conjunto.	48
FIGURA 37:	Poste de 2 Pétalas, com luminárias LED LU6 de 112W.	49
FIGURA 38:	Luminárias LED LU6 de 112W.	49
FIGURA 39:	Instalação de luminária LU6 de 90W.	50
FIGURA 40:	Luminárias LED LU6 de 112W.	51
FIGURA 41:	Lâmpada LED SP-90.	52
FIGURA 42:	Luminária SB-100, para a fixação da lâmpada LED SB-90.	52
FIGURA 43:	Luminária com lâmpada LED SP-90.	52
FIGURA 44:	Painel fotovoltaico.	53
FIGURA 45:	Exemplo de bateria estacionária.	54
FIGURA 46:	Controlador de carga CML10 da Phocos.	55
FIGURA 47:	Projeto de iluminação de vias de acesso de um condomínio com a substituição das luminárias a Vapor de Sódio de 150W, por luminárias LED de 60W.	57
FIGURA 48:	Iluminação de rodovia com luminárias LED.	57
FIGURA 49:	Gráfico dos custos anuais de iluminação.	62
FIGURA 50:	Gráfico dos custos da Iluminação a LED com alimentação fotovoltaica.	63
FIGURA 51:	Gráfico dos custos dos equipamentos de iluminação.	64

## 1 INTRODUÇÃO

A maior preocupação do setor elétrico é a questão do consumo de energia, que cresce em ritmo acelerado. O aumento da capacidade de produção e transporte de energia elétrica envolve grandes investimentos no setor, além dos inúmeros impactos sociais e ambientais. Com a legislação ambiental cada vez mais rígida, e a maior preocupação com os impactos ambientais e sociais, torna-se cada vez mais demorada e custosa a viabilização de novos projetos de transmissão e geração, seja Hidroelétrica, Térmica, Termo-Nuclear, etc. Um outro agravante deste panorama é a escassez de locais que possuam potencial e viabilidade técnica e econômica para a implementação de um novo empreendimento de grande porte.

Uma maneira de racionalizar este crescimento é investir na utilização de tecnologias mais eficientes para as instalações elétricas de um modo geral, substituindo equipamentos obsoletos e com baixo rendimento. Como forma de fomentar esta redução do consumo, o governo brasileiro lançou vários programas de efficientização do consumo de energia, tais como o PROCEL, que tem por finalidade incentivar o consumo de equipamentos mais eficientes e a troca de equipamentos obsoletos, e o RELUZ, que visa melhorar e otimizar a iluminação urbana.

A eficiência do consumo de energia também deve ser alcançada tanto na produção quanto no transporte de energia, reduzindo suas perdas e buscando formas mais “limpas” de geração, tais como eólica, solar e biomassa, visto que a base energética brasileira já é considerada de baixa emissão de CO<sub>2</sub>, porém também possui seus impactos ambientais e sociais.

A ideia deste projeto surgiu após a análise do consumo de energia em iluminação de uma subestação alocada em uma área de grande insolação, e visa a substituição dos equipamentos por outros de maior eficiência, além de substituir a fonte de energia utilizada para este fim.

Esta subestação faz parte do escopo do leilão 008 de 2008 da ANEEL, que é parte do incentivo do governo à produção de energia através da biomassa. Está sendo implantada na cidade de Jataí, em Goiás, e é responsável pela interligação entre as usinas de bagaço de cana-de-açúcar (UTE's) e a rede básica do Sistema Interligado Nacional, operada pela ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro. Ocupa uma área de 19.400 m<sup>2</sup>, sendo 10.400 m<sup>2</sup> para o pátio de 230 kV e

9.000 m<sup>2</sup> para o pátio de 138 kV, possui quatro vãos de entrada de linha em 138 kV e dois vãos de saída em 230 kV.

### **1.1 Origem do trabalho**

Por escolha do autor, a área a ser trabalhada neste estudo é a Iluminação, voltada para o contexto da redução do consumo elétrico através da utilização de equipamentos mais eficientes e uma fonte de energia alternativa. O tema relacionado a projetos de iluminação é relevante devido a pouca existência de bibliografia específica sobre o assunto e conjuntura econômica e energética atual, além do fomento à utilização de novas tecnologias.

### **1.2 Importância do trabalho**

Devido às condições precárias em que se encontram muitas das instalações prediais atuais, somadas a crise energética passada e possível falta de recursos no futuro, este trabalho se apresenta como possível ferramenta no enfrentamento de problemas relacionados às questões de consumo, desperdícios e qualidade desejável.

Através de uma metodologia adequada é possível um diagnóstico da situação em que se encontra uma planta. Assim, é possível uma série de ações corretivas com o objetivo de adequar as características não gratas ao projeto.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo deste trabalho é fomentar a racionalização do consumo de energia elétrica na área de iluminação, contribuindo com a redução da degradação do meio ambiente e evitando o uso indevido da energia elétrica.

Aprofundar os conhecimentos em técnicas de iluminação, avaliando uma instalação existente e propondo duas opções baseadas em uma nova tecnologia disponível no mercado, que apresenta inúmeras vantagens, além da substituição da fonte energética, que se torna viável com os equipamentos propostos.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

No Capítulo 1 são explicitados os subsídios necessários que norteiam a pesquisa, que são os seguintes: a justificativa para a realização do trabalho e os objetivos a serem alcançados, aportes teóricos e aportes práticos.

A seguir, o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica do trabalho, abordando os conhecimentos relacionados à luminotécnica, enquanto que o Capítulo 3 apresenta os equipamentos utilizados em iluminação, enfatizando os que são utilizados neste trabalho, apresentando suas características, vantagens e desvantagens.

Já o Capítulo 4 faz o levantamento dos equipamentos já utilizados na subestação, com a classificação e a análise técnica e econômica de cada componente, mostrando os pontos relevantes deste projeto.

No Capítulo 5 será proposta uma alternativa de iluminação a esta instalação, com iluminação a LED autônoma, ou seja, alimentada por energia fotovoltaica. Serão utilizados equipamentos já encontrados no mercado, para que seja viável a implementação da mesma.

Após breve análise da proposta, no Capítulo 6, será verificada a possibilidade de uma nova opção de iluminação, avaliando-se a utilização das luminárias a LED, porém com a alimentação diretamente da rede elétrica, devido às características dos resultados obtidos no capítulo anterior.

O Capítulo 7 apresenta as comparações e resultados, mostrando a melhor opção para a iluminação desta subestação e os prós e contras de cada proposta, além da análise dos custos.

Em seguida o Capítulo 8 destaca, finalmente, as conclusões e considerações finais, justificando o propósito deste.

Por fim, são indicadas as referências bibliográficas e os anexos, que serviram de base teórica para este trabalho.

## 2 ILUMINAÇÃO

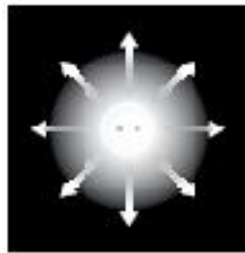
### 2.1 Definições

Luminotécnica é o estudo das técnicas das fontes de iluminação artificial, através da energia elétrica, com a finalidade de promover a quantidade e a qualidade mínimas necessárias para cada ocasião.

Para o uso da luminotécnica é necessário compreender as grandezas que fundamentam este estudo, além das características das fontes luminosas e do local a ser projetado. As definições a seguir foram baseadas em ITAIM (2008):

#### Fluxo Luminoso ( $\varphi$ )

É medido em lúmens (lm) e consiste na radiação luminosa total, sensível ao olho humano, emitida por uma fonte de luz em todas as direções (Figura 1). Pode ser interpretado como potência luminosa de uma fonte.



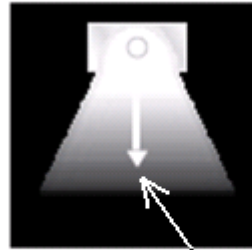
**Figura 1 – Fluxo Luminoso.**

Fonte: ITAIM, 2008, p.20.

#### Intensidade Luminosa (I)

É medida em candelas (cd) e corresponde a radiação emitida pela fonte, em uma determinada direção, que chega em um anteparo pontual (Figura 2). Pode ser

representada por um vetor, pois possui intensidade, direção e sentido. Exemplificada, normalmente, através da radiação luminosa emitida por uma estrela, que ilumina um planeta. Neste caso, o planeta é equivalente à um anteparo pontual, devido as dimensões envolvidas.



Objeto pontual

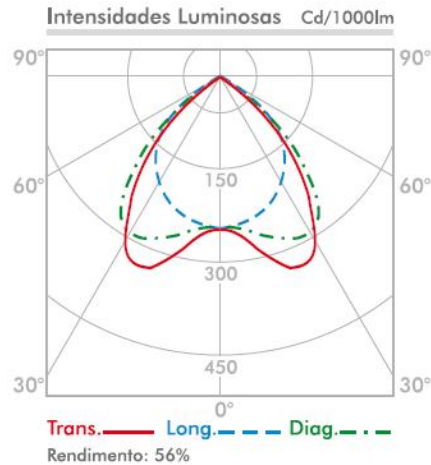
**Figura 2 – Intensidade Luminosa.**

Fonte: adaptado de ITAIM, 2008, p.20.

### **Curva de Distribuição Luminosa**

É a representação vetorial da Intensidade Luminosa em todos os ângulos de emissão de uma fonte de luz, normalmente apresentada na escala cd para um fluxo de 1.000 lúmens (Figura 3). Sua representação está em função da intensidade luminosa e do Ângulo Gama, que é o ângulo formado entre a reta normal à luminária e a direção desejada, seja transversal ou na longitudinal. Também chamada de Curva de Isocandela. Esta curva é indispensável à parte inicial do projeto, pois a partir da forma da curva é selecionada o tipo de luminária a ser utilizada.





**Figura 3 – Curva de Distribuição Luminosa (Isocandela).**

Fonte: ITAIM, 2008, p.24.

## Iluminância (E)

É medida em lux (lx), que corresponde a lúmen/m<sup>2</sup> e definida como a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este fluxo incide (Figura 4). Devem ser respeitados os níveis fornecidos para cada ambiente na norma NBR-5413, para que seja possível a realização de uma atividade ou a permanência de um indivíduo com conforto e segurança. A unidade lux é compreendida como o iluminamento ocasionado pela incidência uniforme de 1 lúmen em uma superfície com área de 1m<sup>2</sup>, a um metro de distância da fonte.

$$E = \frac{\varphi}{A} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:  $\varphi$  = fluxo luminoso e

$A$  = área iluminada.



**Figura 4 – Iluminância.**

Fonte: ITAIM, 2008, p.20.

Para exemplificar melhor ideia de iluminância, tem-se algumas quantificações a seguir:

- Dia ensolarado de verão em local aberto  $\approx 100.000$  lux.
- Boa iluminação de rua  $\approx 20$  a  $40$  lux.
- Noite de lua cheia  $\approx 0,25$  lux.
- Luz de estrelas  $\approx 0,01$  lux.

### **Luminância (L)**

É medida em candela/m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>) e corresponde a quantidade de radiação luminosa que é refletida por uma superfície iluminada (Figura 5). Mais precisamente, é a principal característica perceptível ao observador, porém depende do tipo e do material desta superfície.



**Figura 5 – Luminância.**

Fonte: ITAIM, 2008, p.20.

“Luminância liga-se com contrastes, pois a leitura de uma página escrita em letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo branco (papel, refletância 85%) revela que a luminância das letras é menor do que a luminância do fundo e, assim, a leitura “cansa menos os olhos”.” (COSTA, 2005, p.231).

### Eficiência Luminosa de uma lâmpada ( $\eta_w$ )

Calculada em lúmen por Watt (lm/W) é a relação entre a potência elétrica consumida pela lâmpada e o fluxo luminoso emitido pela mesma. Determina a capacidade da lâmpada de transformar energia elétrica em luz.

### Temperatura de Cor Correlata (TCC)

No instante que um ferreiro coloca uma peça de ferro no fogo, esta peça passa a comportar-se segundo a lei de Planck e vai adquirindo diferentes colorações na medida que sua temperatura aumenta. Na temperatura ambiente sua cor é escura, tal qual o ferro, mas será vermelha a 800 K, amarelada em 3.000 K, branca azulada em 5.000K. Sua cor será cada vez mais clara até atingir seu ponto de fusão. Pode-se então, estabelecer uma correlação entre a temperatura de uma fonte luminosa e sua cor, cuja energia do espectro varia segundo a temperatura de seu ponto de fusão. A observação da experiência acima indica que, quando aquecido o corpo negro emite radiação na forma de um espectro contínuo (Figura 6). No caso de uma lâmpada incandescente, grande parte desta radiação é invisível, seja na forma de ultravioletas, seja na forma de calor. (COSTA, 2005, p.257).

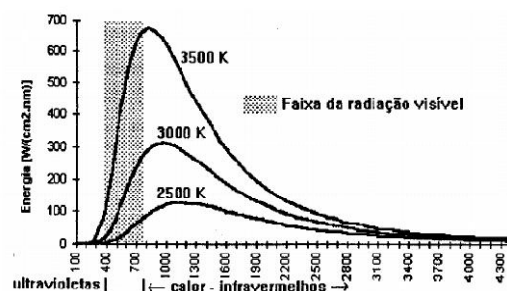


Figura 6 – Energia espectral dos radiadores integrais, segundo a lei de Planck.

Fonte: COSTA, 2005, p.258.

A Figura 7 permite observar que quanto maior for a temperatura, maior será a energia produzida, sendo que a cor da luz está diretamente relacionada com a temperatura de trabalho (mais fria quanto maior for a temperatura).

Um aspecto importante é que a temperatura da cor não pode ser empregada isoladamente e sim em conjunto com o IRC, mas independentemente deste aspecto, aceita-se que cores quentes vão até 3.000K, as cores neutras situam-se entre 3.000 e 4.000K e as cores frias acima deste último valor.

Uma iluminação usando cores quentes realça os vermelhos e seus derivados, ao passo que as cores frias, os azuis e seus derivados próximos. As cores neutras ficam entre as duas e são, em geral, empregadas em ambientes comerciais (Figura 7).

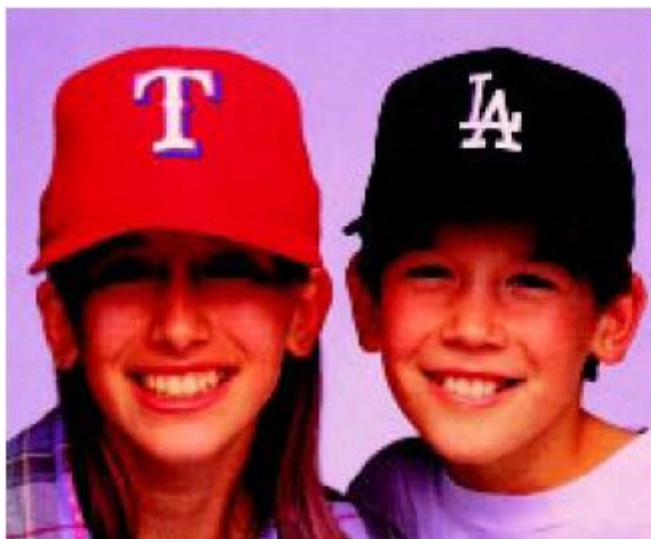


**Figura 7 – Efeito da TCC nas cores dos objetos iluminados.**

Fonte: OSRAM, 2008, p.6.

### **Índice de Reprodução de Cores (IRC)**

Este índice quantifica a fidelidade com que as cores são reproduzidas sob uma determinada fonte de luz (Figuras 8 e 9). A capacidade da lâmpada de reproduzir bem as cores está relacionada à qualidade do espectro de luz emitido. Quanto mais completo o espectro, melhor a reprodução das cores, e é independente da sua temperatura de cor (K). O padrão de comparação deste índice é a luz solar, quando o sol encontra-se no equinócio.



**Figura 8 – IRC de 85%.**

Fonte: OSRAM, 2008, p.6.



**Figura 9 – IRC de 100%.**

Fonte: OSRAM, 2008, p.6.

### **Vida Útil de uma lâmpada**

É medida em horas (h) e é definida pela média aritmética do tempo de duração de cada lâmpada ensaiada.

### **Eficiência de luminária ( $\eta_L$ )**

É a razão entre o fluxo luminoso emitido por uma luminária, medido sob condições práticas especificadas, e o fluxo luminoso total emitido pela lâmpada que está dentro da luminária. Na prática, quantifica as perdas que a luminária representa para o fluxo luminoso emitido pela lâmpada, seja por absorção, reflexões indesejadas ou alguma outra característica da luminária.

### **Fator ou Índice de Reflexão**

É a relação entre o fluxo luminoso refletido e o incidente. Mostra o quão eficiente uma superfície é capaz de refletir ou, caso a reflexão não seja o objetivo, quantifica as perdas que esta superfície oferece ao fluxo luminoso.

### **Depreciação do Fluxo Luminoso**

É a redução do fluxo luminoso emitido por uma lâmpada ao longo de sua vida, em função do próprio desgaste e do acúmulo de sedimentos tanto na superfície interna, quanto na externa de uma lâmpada (Figura 10).



**Figura 10 – Depreciação do fluxo luminoso.**

Fonte: elaboração do autor.

Dentre estas características apresentadas, as mais relevantes para este trabalho são: eficiência luminosa da lâmpada, eficiência da luminária, vida útil da lâmpada, índice de reprodução de cores, curva de distribuição luminosa e fluxo luminoso. Os demais são considerados auxiliares para desenvolvimento do projeto.

### **3 EQUIPAMENTOS**

A eficiência em iluminação depende de cada item utilizado, desde a tomada de energia até a superfície a ser iluminada. Os principais componentes são as lâmpadas, luminárias e os reatores e ignitores.

#### **3.1 Lâmpadas**

A lâmpada é o equipamento responsável pela emissão de luz, seja qual for a natureza desta emissão, aquecimento ou descarga elétrica.

##### **3.1.1 Incandescente**

Funcionam basicamente através da passagem da corrente elétrica por um filamento de tungstênio, que pode ser tanto corrente alternada quanto corrente contínua. A passagem desta corrente aquece o filamento e com isso o filamento emite luz.

##### **Incandescente tradicional**

O filamento de tungstênio fica imerso no vácuo para evitar a oxidação e o rompimento do mesmo, conseguindo uma vida útil de 1.000 h. Com TCC agradável, na faixa de 2.700 K (amarelada) e IRC de 100%, tem atualmente sua aplicação predominantemente residencial, possui a menor eficiência luminosa, até 15 lm/W.



## Halógenas

São incrementadas com gases halógenos que, dentro do bulbo, se combinam com as partículas de tungstênio desprendidas do filamento. Essa combinação, associada à corrente térmica dentro da lâmpada, faz com que as partículas se depositem de volta no filamento, criando assim o ciclo regenerativo do halogênio. Possui eficiência entre 15 lm/W a 25 lm/W e IRC próximo ao da incandescente. Amplamente utilizada na área automotiva e possui vida útil de 3.000 h.

### 3.1.2 Lâmpadas de descarga

Nas lâmpadas de descarga a luz é produzida pela radiação emitida pela descarga elétrica em uma mistura gasosa composta de gases inertes e vapores metálicos. A mistura gasosa encontra-se confinada em um invólucro translúcido (tubo de descarga) em cujas extremidades encontram-se inseridos eletrodos (hastes metálicas ou filamentos) que formam a interface entre a descarga e o circuito elétrico de alimentação.

A descarga é formada por elétrons emitidos pelo eletrodo negativo que são acelerados por uma diferença de potencial externa em direção ao eletrodo positivo, gerando colisões com os átomos do vapor metálico. Neste caso o composto metálico responsável pela emissão de radiação encontra-se em estado sólido ou líquido, na temperatura ambiente, e o gás inerte no interior do tubo é isolante.

Portanto, inicialmente é necessário um processo de ignição para o rompimento da rigidez dielétrica da coluna gasosa. O calor gerado pela descarga através do gás inerte nos instantes iniciais após a partida da lâmpada vaporiza o composto metálico.

Após a partida, a lâmpada de descarga se comporta como um curto-circuito, permitindo indefinidamente a elevação da corrente elétrica em seu interior. Para evitar que esta elevada corrente elétrica danifique a lâmpada são adicionadas impedâncias, com a função de limitar e estabilizar a corrente no ponto de operação nominal da lâmpada. O elemento de limitação e estabilização é denominado reator.

Temos então a corrente elétrica passando pelo reator, que impõe dentro da lâmpada uma tensão elevada, permitindo que o sistema dê a partida e após isto, sua impedância em série, tem a função de limitar de corrente de operação.

As lâmpadas de descarga podem ser classificadas pela pressão no interior do tubo com a lâmpada em operação, em lâmpadas de descarga de baixa pressão e lâmpadas de descarga de alta pressão. As primeiras possuem partida rápida, quase instantânea, já as demais necessitam de um tempo de 2 a 15 minutos até alcançarem seu fluxo máximo.

### **Fluorescentes tubulares**

Considerada de baixa pressão, de alta eficiência e longa durabilidade, emitem luz pela passagem da corrente elétrica através de um gás, descarga essa quase que totalmente formada por radiação ultravioleta (invisível ao olho humano) que, por sua vez, será convertida em luz visível pelo pó fluorescente que reveste a superfície interna do bulbo. Possui temperatura de cor entre 4.000 K e 6.100 K e eficiência energética entre 70 lm/W e 100 lm/W, com IRC de 85%. São usadas em áreas comerciais e industriais, normalmente em ambientes internos.

### **Fluorescentes compactas**

Possuem a tecnologia e as características de uma lâmpada fluorescente tubular, porém com tamanho reduzido e reator já incorporado. São utilizadas para as mais variadas atividades, seja comercial, institucional ou residencial. Possui as vantagens de durar 10 vezes mais e consumir 80% menos de energia e menor emissão térmica ao ambiente.

### **Multivapores metálicos**

São lâmpadas que combinam iodetos metálicos, com altíssima eficiência energética, excelente reprodução de cor, longa durabilidade e baixa carga térmica. Sua luz é muito branca e brilhante. Tem versões desde baixa potência, a partir de 70 W, até alta potência, em torno de 2.000 W, com IRC de até 90%, eficiência energética de até 100 lm/W e temperatura de cor de 4.000 a 6.000 K. Podem ser encontradas em formato ovoide ou tubular, com diversos tipos de base, tornando versátil sua utilização. Apresentando alta eficiência, ótima reprodução de cor, vida útil longa e baixa carga térmica, possuem custo elevado e são classificadas como lâmpadas de descarga de alta pressão.

### **Vapor de mercúrio**

Com aparência branca azulada, eficiência de até 55 lm/W e potências de 80 a 1.000 W e vida útil de 10.000 h, são normalmente utilizadas em vias públicas e áreas industriais.

### **Lâmpadas mistas**

Compostas por um filamento e um tubo de descarga, funcionam em tensão de rede de 220 V, sem uso de reator. Via de regra, representam a alternativa convencional de maior eficiência para substituição de lâmpadas incandescentes, porém só possuem vida útil de 10.000h e custo elevado. Foram desenvolvidas, mais precisamente, para substituir as lâmpadas de vapor de mercúrio.

### Vapor de sódio de alta pressão

Emitem uma luz monocromática dourada, sem ofuscamento, e são apresentadas como a melhor solução para iluminação em locais onde existe névoa ou bruma. Com eficiência energética de até 130 lm/W, de longa durabilidade, é uma das mais econômicas fontes de luz. Com formatos tubulares e ovóides, são utilizadas em locais onde a reprodução de cor não é um fato importante, como em estradas, portos, ferrovias e estacionamentos.

As lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão tem um tubo de descarga de óxido de alumínio encapsulado por um bulbo oval de vidro (Figura 11). O tubo de descarga é preenchido por uma porção de sódio-mercúrio, além de uma mistura gasosa de neônio e argônio, utilizada para a partida.

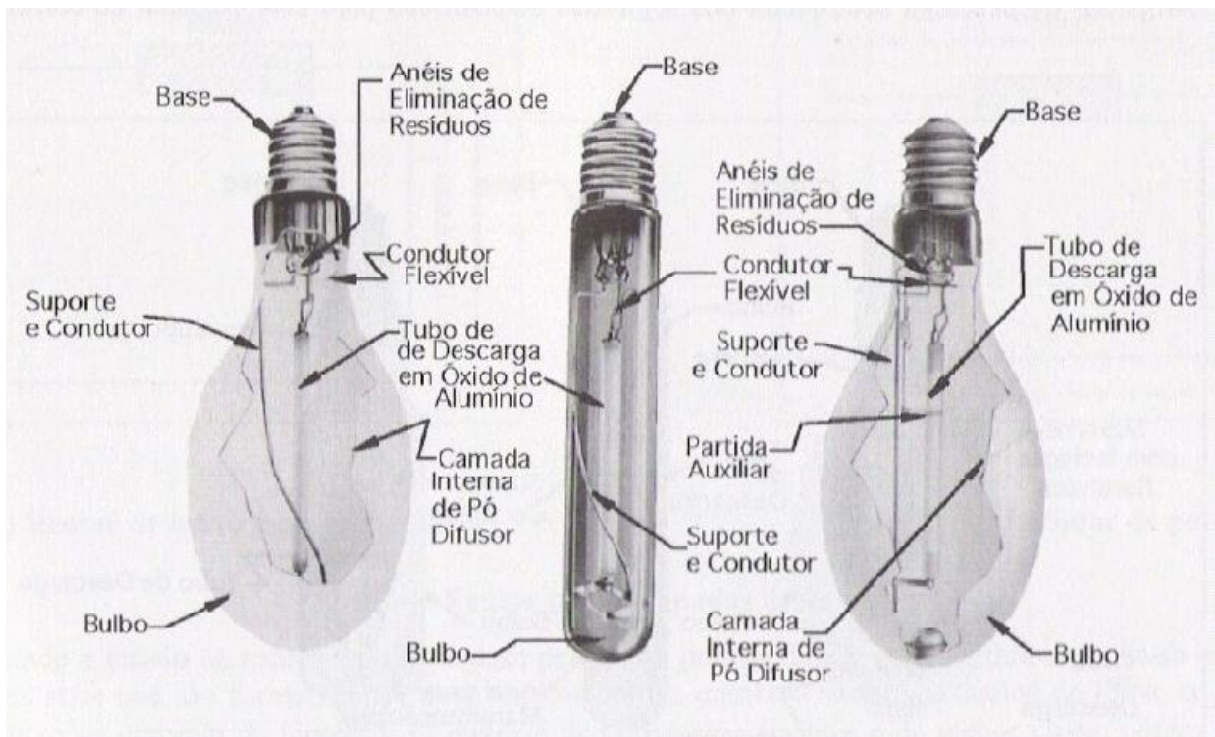


Figura 11 – Lâmpada a Vapor de Sódio.

Fonte: FILHO, 2002, p.43.

As lâmpadas de sódio são produzidas para substituir as lâmpadas vapor de mercúrio diretamente nas potências equivalentes, devendo-se observar que estas substituições necessitam, também, da troca do reator, para um correto funcionamento e ignição estabilizados.

O IRC das lâmpadas a vapor de sódio é 23, a temperatura de cor é em torno de 2.000 K e a vida útil varia de 16.000 a 24.000 h, necessitando de reator de boa qualidade para operação e ignição confiável, não devendo ser utilizadas com circuitos capacitivos. São usadas em estradas, pontes, viadutos, túneis, aeroportos, etc. Não é recomendada a prolongada exposição de pessoas a este tipo de iluminação, pois provoca um desconforto visual, devido a sua tonalidade, além de não ser recomendada a utilização onde há a necessidade de reconhecimento de cores, dado o seu baixo IRC.

### 3.1.3 LED

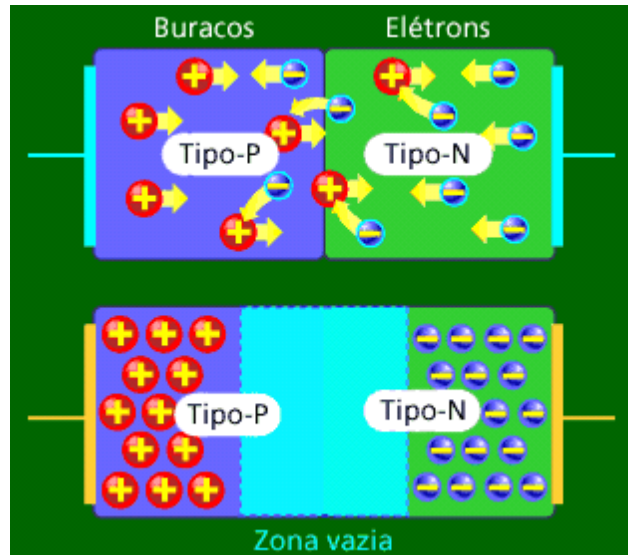
Os fundamentos teóricos do LED foram baseados em HARRIS (2010). Os Diodos Emissores de Luz – LEDs – são tipos específicos de diodos, também formados por uma junção tipo P-N, porém, quando atravessada por uma corrente elétrica, em um determinado sentido, emite luz.

O diodo é o tipo mais simples de semicondutor, um material com capacidade variável de conduzir corrente elétrica. A maioria dos semicondutores é feita de um material condutor com adição de átomos de outro material. Este processo é chamado de dopagem.

No caso dos LEDs, o material condutor é normalmente arseneto de alumínio e gálio (AlGaAs), que não apresenta elétrons livres para conduzir corrente elétrica. Quando dopado, seu equilíbrio é alterado, adicionando elétrons livres ou criando buracos onde os elétrons podem saltar. Quaisquer destas adições podem tornar o material um melhor condutor.

Um semicondutor com elétrons extras é chamado material tipo-N, enquanto que o semicondutor com buracos extras é chamado material tipo-P. O diodo é composto por uma seção de material tipo-N ligado a uma seção de material tipo-P, com eletrodos em cada extremidade. Essa combinação conduz eletricidade apenas

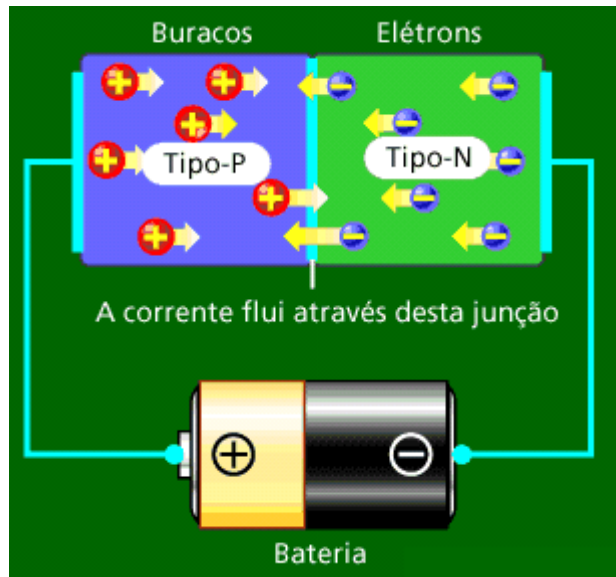
em um sentido. Quando os terminais do diodo não estão sob nenhuma tensão, os elétrons do material tipo-N preenchem os buracos do material tipo-P ao longo da junção entre as camadas, formando uma zona vazia, que volta ao seu estado isolante original (Figura 12).



**Figura 12 – Zona Vazia.**

Fonte: HARRIS, 2010, p.2.

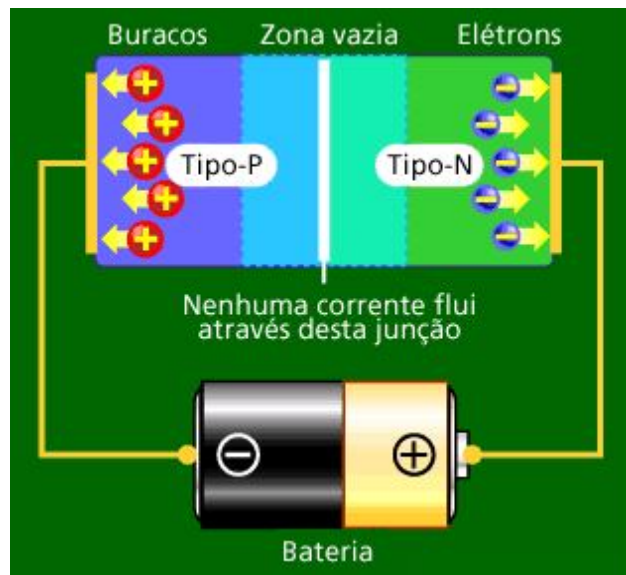
Quando o lado tipo-N do diodo é conectado ao terminal negativo do circuito e o lado tipo-P ao terminal positivo, polarização direta, os elétrons livres no material tipo-N são repelidos pelo eletrodo negativo e atraídos para o eletrodo positivo. Os buracos no material tipo-P se movem no sentido contrário. Quando a diferença de potencial entre os eletrodos é alta o suficiente, os elétrons na zona vazia são retirados de seus buracos e começam a se mover livremente de novo. A zona vazia desaparece e a carga se move através do diodo e tem-se a circulação de corrente elétrica no diodo (Figura 13).



**Figura 13 – Polarização Direta.**

Fonte: HARRIS, 2010, p.2.

Quando o diodo é polarizado inversamente, os elétrons no material tipo-N são atraídos para o eletrodo positivo e os buracos do material tipo-P são atraídos para o eletrodo negativo e a corrente não flui (Figura 14).

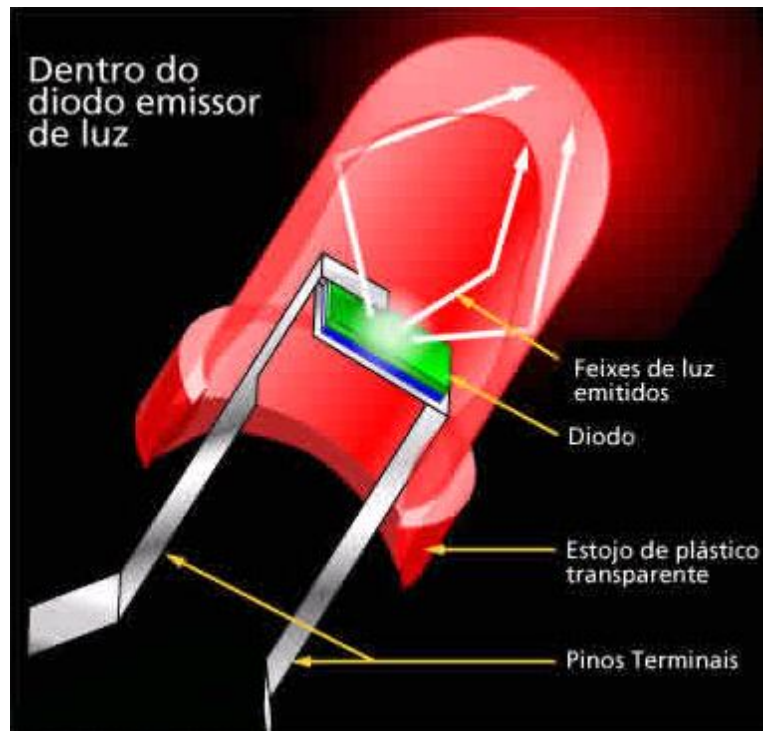


**Figura 14 – Polarização Inversa.**

Fonte: HARRIS, 2010, p.2.

O movimento dos elétrons livres através de um diodo faz com que eles caiam em buracos de uma camada tipo-P, o que envolve uma queda energética do elétron que libera um fóton com uma determinada frequência de vibração. Isso acontece em qualquer diodo, mas é possível ver os fótons apenas quando o diodo é composto por um material específico, o que força o elétron a saltar uma determinada distância cuja frequência do fóton é visível ao olho humano.

Os LEDs são fabricados especialmente para liberar um grande número de fótons para fora. Além disso, eles são montados em bulbos de plásticos que concentram a luz em uma direção específica, conforme a necessidade, dispensando o uso de luminárias e evitando as perdas que esta representaria, conforme a Figura 15.



**Figura 15 – LED.**

Fonte: HARRIS, 2010, p.3.

A principal vantagem dos LEDs é sua eficiência, pois em uma lâmpada incandescente convencional, o processo de produção de luz envolve a geração de calor, desperdiçando grande quantidade de energia na forma térmica.



Por propagar menos calor do que a tecnologia convencional hoje em uso, o LED não atrai insetos, que em alguns locais corresponde a uma verdadeira praga, já que as lâmpadas das ruas ficam tomadas por nuvens de insetos que prejudicam a luminosidade.

Inicialmente os LEDs foram utilizados apenas em painéis e equipamentos eletrônicos, com a função de sinalização, pois sua baixa potência, cerca de alguns mW limitava sua aplicabilidade.

Com a evolução da tecnologia os LEDs ganharam espaço significativo na iluminação. Sua grande potência, eficiência, capacidade de direcionamento do fluxo e tamanho permitiram uma infinidade de novas aplicações, que vão desde as sinalizações em painéis até a iluminação de vias públicas e indústrias, passando por aplicações na medicina, em televisores e em aplicações automotivas.

Possui vida útil de 70.000 h, superior a todas as outras lâmpadas, e o IRC, dependendo do material empregado na construção, varia de 30% a 95%, mas normalmente encontrado acima de 80%. Encontrado com amplas opções de temperatura de cor, desde o infravermelho ao ultravioleta, pode ser utilizado para alterar a cor de um objeto na iluminação decorativa.

Até recentemente os LEDs possuíam custo de produção muito alto para serem usados na maioria das aplicações de iluminação, porque eles são feitos com material semicondutor avançado. Entretanto, o preço de dispositivos semicondutores tem caído na última década, tornando os LEDs uma opção de iluminação mais viável para uma grande variedade de situações. Embora inicialmente eles possam ser mais caros que as luzes incandescentes, seu custo mais baixo ao longo do tempo de uso, como manutenção e operação, faz deles uma melhor aquisição.

Com a utilização do LED na iluminação, a troca da fonte de energia elétrica por módulos autônomos de energia alternativa com acumuladores também se tornou mais viável, uma vez que a potência consumida pelo LED é muito inferior a das lâmpadas convencionais.

### 3.1.4 Reatores

O reator é um equipamento auxiliar que serve para dar partida e estabilizar o funcionamento da lâmpada, sem cintilação em qualquer situação, garantindo a vida útil de ambos, rendimento de luz adequado e a segurança da instalação. Supondo que a lâmpada desse a partida sem reator, sua operação exigiria elevados níveis de corrente, até que sua deterioração impedisse seu funcionamento, visto que a lâmpada se comporta como curto-circuito neste momento. A corrente ideal para o funcionamento da lâmpada é limitada pelo reator.

Por questões de eficiência, a estabilização da corrente em sistemas de corrente alternada não é feita com resistores, utilizando-se no seu lugar uma associação de elementos reativos (capacitores e indutores) para evitar a dissipação desnecessária de potência ativa.

Quando o reator não tem as características elétricas adequadas, ele estabiliza a corrente acima ou abaixo da necessária, causando queima prematura ou baixa emissão de luz, além do superaquecimento que aumenta o consumo, transformando a energia em calor e prejudicando a segurança da instalação (com risco de curtos-circuitos e incêndios).

Um reator eletromagnético é formado, basicamente, por uma bobina de fio de cobre enrolada ao redor de um núcleo de material ferro-magnético. Para fazer acender a lâmpada, este conjunto é ligado a rede elétrica. Neste momento, começa a circular uma corrente elétrica nesta bobina do reator e esta passagem de corrente elétrica pela bobina de fio de cobre gera uma perda de energia em forma de calor.

Existem dois tipos de reatores eletromagnéticos: o de partida convencional (com starter) e o de partida rápida.

O funcionamento do reator de partida convencional requer o uso de starter ou interruptor manual para armar o circuito no reator e aquecer os filamentos das lâmpadas. Quando os filamentos estão aquecidos, o starter abre e o reator fornece a corrente adequada de partida. Após esta etapa, limita o fluxo da corrente aos valores corretos para o funcionamento adequado da lâmpada.

Já os de partida rápida fornecem níveis adequados de energia para aquecer continuamente os filamentos das lâmpadas por meio de pequenas bobinas de baixa tensão, reduzindo as exigências de tensão de circuitos abertos para partida e

acelerando o intervalo de partida. Normalmente é necessário que o sistema esteja aterrado para que, através do efeito capacitivo entre a lâmpada e a luminária, sejam descarregadas à terra as cargas estáticas que se acumulam ao longo do bulbo da lâmpada fluorescente.

O fator de potência indica o quanto eficientemente a potência será usada, é a razão entre a potência útil, aquela que produz trabalho, e a potência aparente, potência total entregue ao equipamento. Reatores de alto fator de potência requerem baixo nível de corrente no total específico de potência requerida, permitindo a instalação de mais luminárias por circuito e reduzindo os custos de fiação.

Já os reatores de baixo fator de potência, de forma inversa, requerem correntes mais altas. Instalam-se menos luminárias por circuito, resultando na elevação desses custos.

### **3.1.5 Luminárias**

Luminária é um suporte de iluminação onde se montam as lâmpadas, mas estas são consideradas à parte. Possuem as funções de proteger as lâmpadas, orientar ou concentrar o fecho luminoso, difundir a luz, reduzir o ofuscamento e proporcionar um bom efeito decorativo, além de servirem de suporte para as lâmpadas

Composta por carcaça, refletores, difusores ou lentes, bocal e aletas.

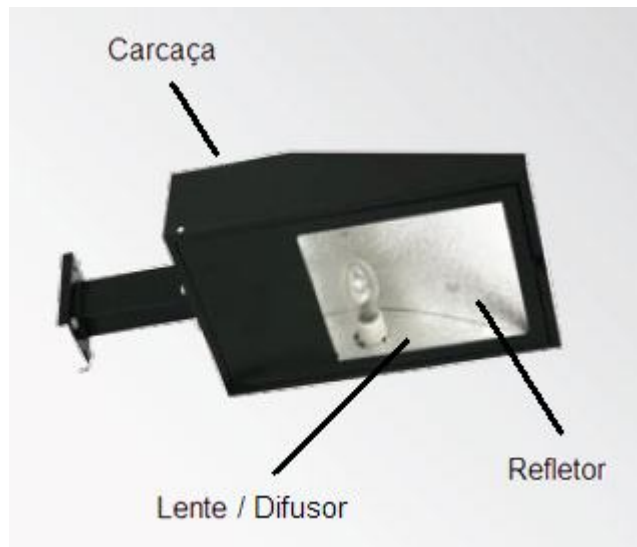
#### **Carcaça**

Está representada na Figura 16 e tem por finalidade a proteção e a fixação da luminária, além de ser responsável por dissipar o calor produzido pela lâmpada. Normalmente de alumínio ou ferro, fixa todos os demais itens da luminária. Dependendo da classificação do ambiente, seja externo, interno ou até explosiva, a

carcaça recebe reforço estrutural ou um fino acabamento, que contribui para a parte estética do projeto.

### Difusor e Lente

Indicado na Figura 16, o difusor evita que a luz seja enviada diretamente da lâmpada para os objetos ou pessoas. Trata-se de uma lente opaca que evita o ofuscamento e protege a lâmpada. Já a lente tem a função apenas de proteger a lâmpada, com a característica de menor interferência possível do fluxo luminoso. Em algumas aplicações encontramos lentes elípticas que tem a função de concentrar ainda mais o fluxo luminoso. Por mais aprimorado que seja, sempre representa uma perda adicional.



**Figura 16 - Estrutura da luminária.**

Fonte: adaptado de ITAIM, 2008, p.206.

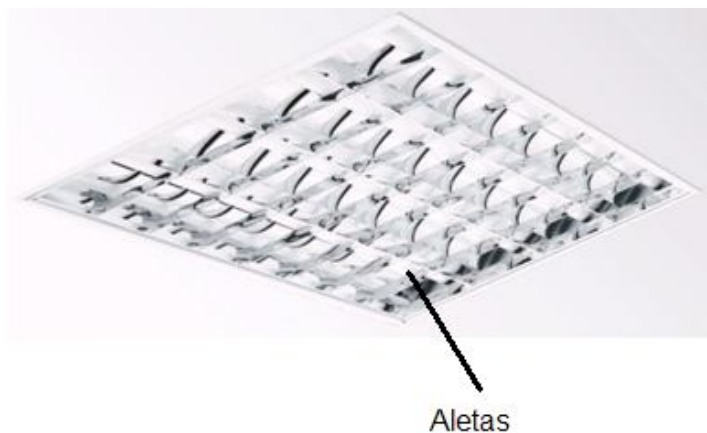
## Refletor

Um refletor é uma superfície que existe no interior de uma luminária e que reflete a luz, conforme a Figura 16. Desta forma, a luz é melhor aproveitada, pois a porção da luz emitida em uma direção não desejada, é reorientada para a região desejada. Os refletores podem ser feitos de chapa de alumínio polido ou até mesmo espelho, mas mesmo assim são responsáveis por uma pequena absorção de luz

## Aletas

Consideramos aletas a “grade” posicionada em frente as lâmpadas, no sentido perpendicular a elas, com a função de reduzir a emissão de fluxo luminoso para as laterais da lâmpada, limitando o ângulo de ofuscamento em um ambiente, de forma que evite a incidência direta ao olho humano, mostrado na Figura 17.

Estas, assim como os refletores, podem ser constituídas de vários materiais e com vários tipos de acabamento (alumínio, policarbonato ou aço). O uso de aletas dificulta a manutenção, aumentando o custo de manutenção e de aquisição da luminária.



**Figura 17 - Luminária com aletas.**

Fonte: adaptado de ITAIM, 2008, p.43.

As luminárias podem ser classificadas quanto à orientação de saída do fluxo luminoso, tais como:

### Direta

O fluxo luminoso da lâmpada é orientado diretamente à superfície que se deseja iluminar. Tem a vantagem de ser muito eficiente, mas há grande risco de ofuscamento (Figura 18).



**Figura 18 – Luminária Direta.**

Fonte: ITAIM, 2008, p.102.

### Semi-direta

Grande parte do fluxo é orientado direto à superfície e o restante é espalhado para o resto do ambiente (Figura 19).



**Figura 19 – Luminária Semi-direta.**

Fonte: ITAIM, 2008, p.101.

### Direta-indireta

O fluxo é dividido igualmente entre a superfície objetivo e o restante do ambiente (Figura 20).

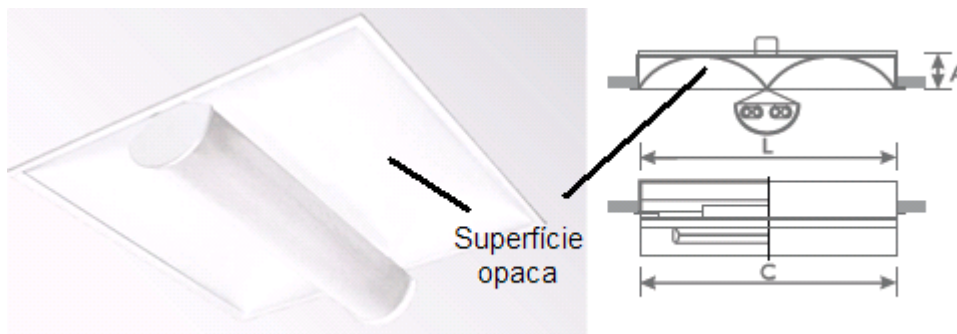


**Figura 20 – Luminária Direta-indireta.**

Fonte: ITAIM, 2008, p.105.

## Indireta

Todo o fluxo é direcionado a um plano, normalmente opaco, e depois refletido à superfície desejada. Não é tão eficiente, mas reduz significativamente o risco de ofuscamento (Figura 21).



**Figura 21 – Luminária Indireta.**

Fonte: adaptado de ITAIM, 2008, p.57.

## Semi-indireta

Uma pequena parte do fluxo é orientada ao ambiente e grande parte é direcionada a um plano, que depois refletirá à superfície desejada. Possui um pequeno índice de ofuscamento e não é tão eficiente quanto a semi-direta (Figura 22).





**Figura 22 – Luminária Semi-indireta.**

Fonte: ITAIM, 2008, p.105

## Difusa

O fluxo luminoso é praticamente uniforme em todas as direções e necessita refratar em uma superfície, normalmente leitosa, para chegar ao objeto, evitando o ofuscamento ao olhar para a fonte luminosa. Não é muito eficiente, mas impede quase que totalmente o ofuscamento (Figura 23).



**Figura 23 – Luminária Difusa.**

Fonte: adaptado de ITAIM, 2008, p.159.

De forma resumida, a Figura 24 o percentual de direcionamento do fluxo luminoso para cada classificação das luminárias.

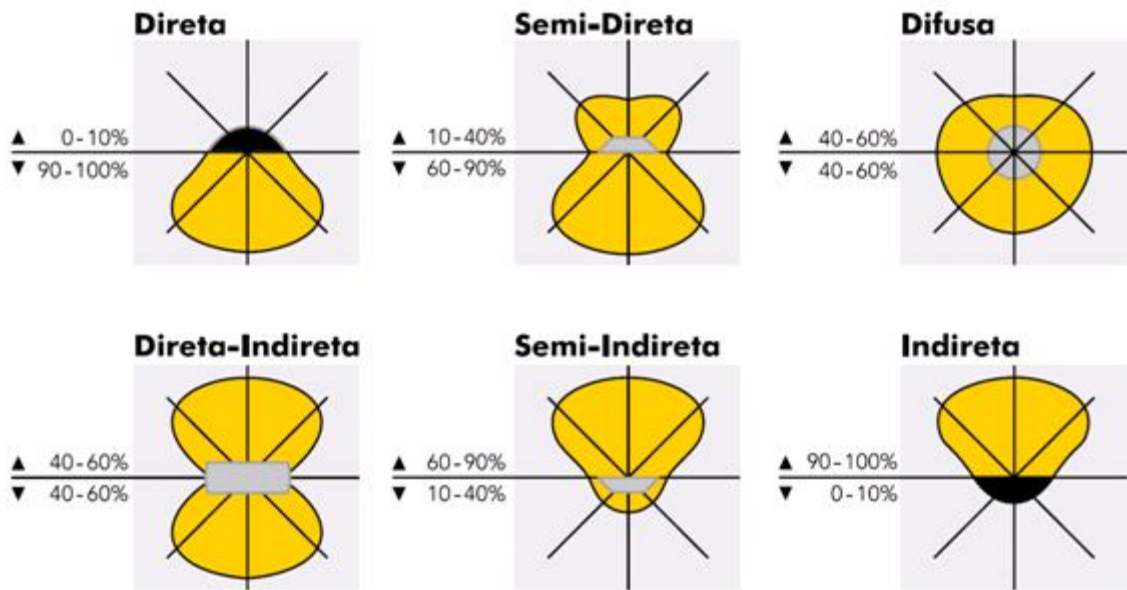


Figura 24 – Esboço dos tipos de luminárias.

Fonte: ITAIM, 2008, p.23.

A Comissão Internacional de L'Eclairage – CIE, possui valores médios de percentuais de iluminação para cada classificação de luminária, mostrado na Tabela 1, que simplifica a escolha do tipo a ser utilizado, de acordo com a eficiência desejada.

Tabela 1 – Classificação das luminárias quanto ao direcionamento do Fluxo Luminoso.

Fluxo Luminoso em relação ao plano horizontal (%)		
Classificação da Luminária	Para o teto	Para o plano de trabalho
Direta	0 - 10	90 - 100
Semi-direta	10 - 40	60 - 90
Indireta	90 - 100	0 - 10
Semi-indireta	60 - 90	10 - 40
Difusa	40 - 60	60 - 40

Fonte: elaboração do autor.

### 3.2 Tendência Mundial

Os métodos tradicionais de iluminação pública a vapor de sódio e de mercúrio tendem a declinar, devido as inúmeras vantagens oferecidas pela tecnologia LED que já está sendo implementada nas grandes metrópoles mundiais. Estima-se que na próxima década grande parte das vias públicas serão iluminadas apenas com luminárias a LED. Uma das grandes responsáveis pelo fomento desta tecnologia, foi a cidade de Pequim, que nas olimpíadas de 2008 utilizou-se da iluminação a LED nos parques esportivos.

A nova tecnologia já é encontrada no mercado brasileiro e os fabricantes divulgam suas inúmeras vantagens, afinal, uma luminária LED flexibiliza a instalação e possui vida útil de até 70 mil horas, enquanto as de vapor de sódio duram até 24 mil horas e as lâmpadas a vapor de mercúrio ou a vapor metálico, mais empregadas em iluminação de edifícios, por exemplo, duram em média 10 mil horas.

A CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais – está fazendo vários testes com a nova iluminação na lagoa da Pampulha e no complexo esportivo do Mineirão e do Mineirinho, já com vistas à Copa do Mundo de 2014. A experiência com a nova iluminação acontece também no Paraná, através da Copel – Cia. Paranaense de Energia – e os resultados em ambos os casos tem sido bastante positivos. (REVISTA INFOVIAS, 2010).

Enquanto ainda não se encontra totalmente difundida, os equipamentos de iluminação a LED custam o dobro dos equipamentos convencionais, porém a popularização desta promete reduzir seus preços, como já observamos com outras tecnologias. A perspectiva é de redução gradativa do preço, uma vez que a demanda destes equipamentos é crescente no mercado.

É bom lembrar que, a melhoria do sistema de iluminação das áreas públicas, além de oferecer maior conforto visual, eleva também o nível de segurança, através de uma adequada iluminação, contribuindo com a qualidade de vida da população.

“Além de maior eficiência e desempenho em termos energéticos, a LED reduz direta e indiretamente o consumo e, conseqüentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> que poluem a atmosfera”, destaca o empresário Manoel Caetano, diretor da Light Design, uma das empresas introdutoras da LED no Brasil. “A iluminação LED também não utiliza componentes tóxicos em sua composição, apresenta melhor reprodução das cores e não emite raios

ultravioletas nem infravermelhos, também prejudiciais ao meio ambiente”, acrescenta Caetano. (REVISTA INFOVIAS, 2010).

A Figura 25 mostra um pouco da flexibilidade e versatilidade do uso do LED para iluminação.



**Figura 25 – Ginásio aquático Water Cube – Pequim:  
Flexibilidade da iluminação a LED.**

Fonte: ENERGY, 2010.

## 4 ANÁLISE DOS EQUIPAMENTOS INSTALADOS

### 4.1 Levantamento

A área a ser iluminada corresponde a uma área externa, em uma subestação. Com a característica de iluminação de segurança onde foram utilizadas lâmpadas de vapor de sódio, conforme a Tabela 2. A Figura 26 mostra os pontos de iluminação de cada setor da subestação, identificando os tipos de luminária utilizados.

Tabela 2 – Potência elétrica instalada – Iluminação a Vapor de Sódio.

Potência Elétrica Instalada – Iluminação a Vapor de Sódio		
Luminária	Patio230 kV	Patio138 kV
Projektor 400 W	13	-
Projektor 250 W	-	15
Poste 250 W	3	6
Potência Total	6.629,0W	5.953,5W
	12.582,5W	

Fonte: elaboração do autor.

Obs: Já foram consideradas as perdas dos reatores, conforme especificado pelo fabricante. Para cada lâmpada de 400 W são adicionados 44,5 W e para cada lâmpada de 250 W, são adicionados 33,5 W.

Como a subestação encontra-se na categoria “Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples” e, além disto, “Área aberta com arredores escuros”, a norma NBR 5413 de 1992 determina ser necessária a iluminância média de 30lux, visto que, quando houver a necessidade de efetuar uma tarefa de manutenção noturna será utilizada iluminação adicional localizada.

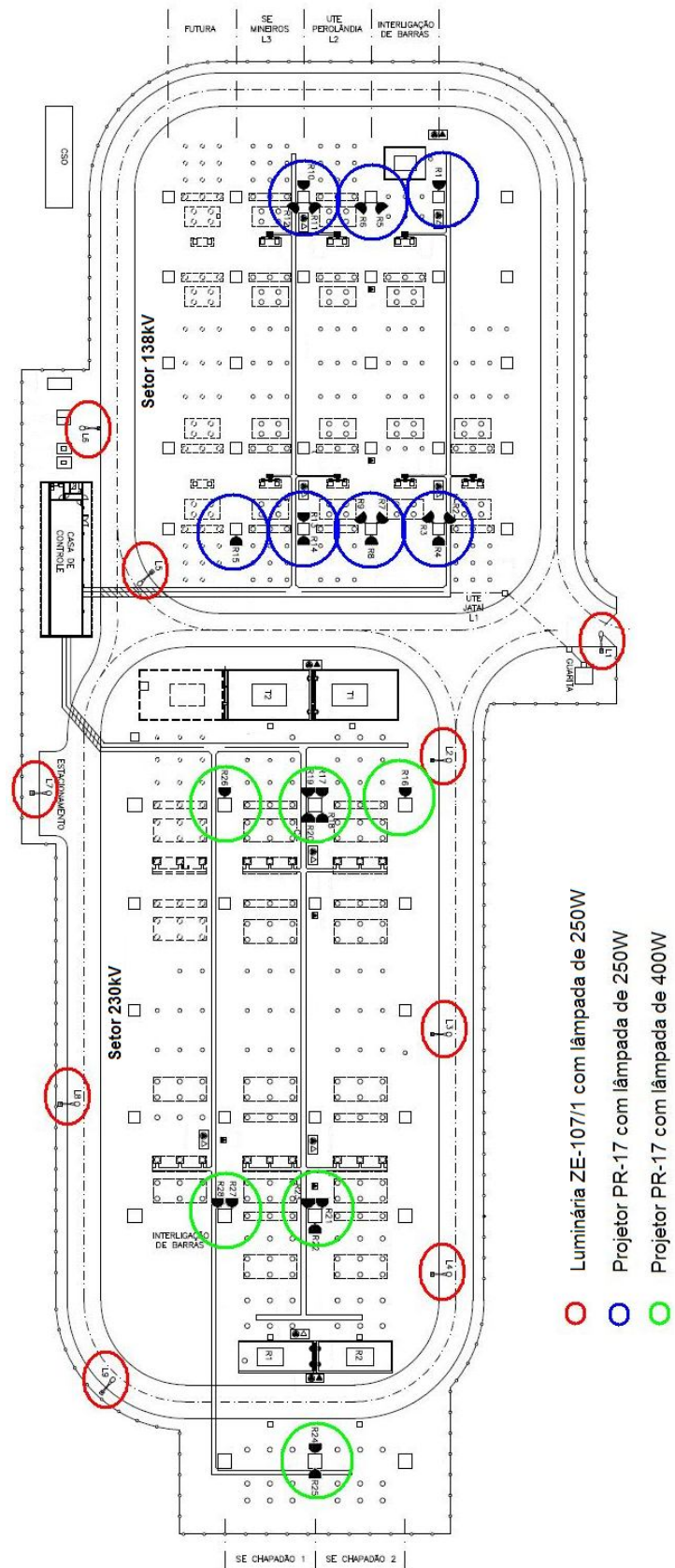


Figura 26 – Subestação Jataí – Pontos de iluminação.

Fonte: MARTE ENGENHARIA, 2010, p.1.

#### 4.1.1 Avaliação Técnica

As lâmpadas utilizadas em todas as luminárias são lâmpadas de vapor de sódio, Philips, modelo SON250 e SON400, com respectivamente 27.000 e 48.000 lm, uma das mais eficientes e com vida útil de 24.000 h, porém com IRC muito baixo, cerca de 23%, e TCC próximo aos 2.000 K, devido a tonalidade dourada da luz emitida.

Uma avaliação inicial desta lâmpada mostra uma excelente escolha devido à sua eficiência e devido a não apresentar nenhuma restrição à atividade realizada, porém não é recomendável a exposição prolongada a este tipo de tonalidade, pois causa desconforto visual.

Um outro aspecto a ser avaliado nesta lâmpada é o fato de ser necessário o uso de reator e de luminária que, adicionalmente, contribuem para a redução da eficiência global do conjunto, mesmo quando utilizados equipamentos de alto rendimento e componentes nobres.

Mesmo esta subestação sendo habitada, neste caso, a lâmpada utilizada ainda é considerada uma adequada opção, dentre as opções usuais que encontramos disponíveis no mercado, uma vez que seu custo de aquisição é baixo.

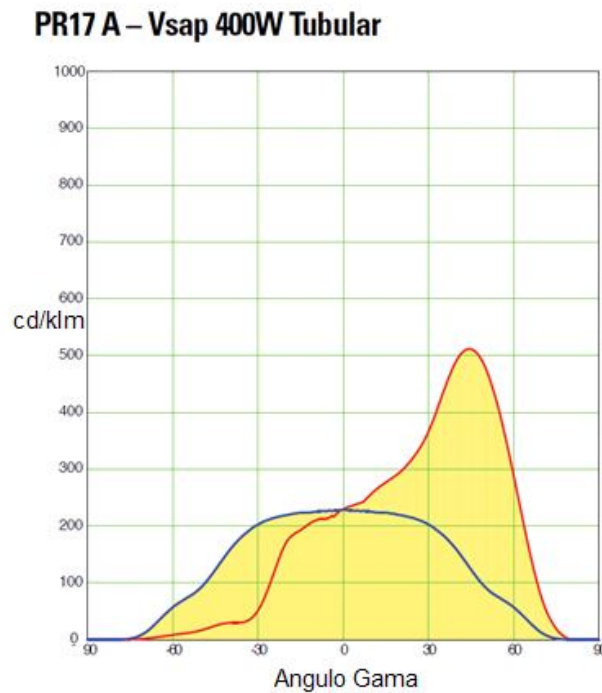
A luminária utilizada para a área de equipamentos é a PR-17 da Tecnowatt, uma empresa que comprovadamente produz equipamentos de qualidade (Figura 27). Este projetor possui resistência à poeira e umidade. Com refletor em alumínio estampado, carcaça resistente à oxidação e lente de vidro temperado. Apresenta compartimento para a instalação de reator interno, o que interfere na eficiência do reator, pois o calor produzido pela lâmpada eleva sua temperatura, implicando em maiores perdas elétricas.

Quanto ao fluxo luminoso é classificada como direta, pois orienta todo o fluxo em apenas uma direção, com a característica de concentrar o feixe verticalmente e espalhá-lo horizontalmente (Figura 28).



**Figura 27 – Detalhes da luminária PR-17 da Tecnowatt.**

Fonte: TECNOWATT, 2010, p.97.



**Figura 28 – Curva de distribuição luminosa da luminária PR-17 da Tecnowatt.**

Fonte: TECNOWATT, 2010, p.98.

É considerada, neste caso, uma escolha razoável em termos luminotécnicos, pois poderia apresentar um refletor de melhor refletância, como os de alumínio polido e reator fixado externamente. Porém é de baixo custo de aquisição e operação, além de apresentar uma boa durabilidade, devido aos materiais empregados em sua fabricação. Comparando-se este projeto PR-17 com uma luminária equivalente da Philips, modelo Com Tempo MWF-405, estima-se que a



eficiência desta luminária esteja próximo a 50%, visto que apresentam curvas de isocandela semelhantes e que empregam o mesmo material. Este projetor Com Tempo pode ser considerado uma opção semelhante, caso não seja encontrado no mercado o PR-17.

Com base na eficiência do projetor, o conjunto de projetor PR-17 com lâmpada de 400 W possui fluxo luminoso com aproximadamente 24.000 lm. Mas se ainda for considerar as perdas no reator e a queda de tensão no cabeamento, este fluxo pode ser estimado em 21.500 lm. Acompanhando este raciocínio para os projetores PR-17 com lâmpadas de 250 W, o fluxo luminoso estimado do conjunto é de 12.500 lm. Podemos relatar também o fato de que os projetores não conseguem concentrar todo o fluxo luminoso emitido pela luminária, ainda há um espalhamento indesejado por parte dos refletores.

O tipo de luminária indicada para ser utilizada no poste de iluminação das vias de acesso é da fabricante Reeme, modelo ZE-107/1 (Figura 29). São luminárias padrão para iluminação de vias públicas, sem notáveis diferenciais e de baixo custo. Possui refletor pintado na cor branca, o que reduz significativamente a capacidade de reflexão, quando comparado ao refletor de alumínio polido, lente com características refratárias, auxiliando na orientação do fluxo luminoso difusor. Este tipo de lente não apresenta uma razoável eficiência, pois acaba dispersando a luz em direções não desejadas, além de apresentar um considerável índice de refletância da luz para o interior da luminária. Com base nesta avaliação e considerando a diferença da qualidade, quando comparado com a PR-17, estima-se que a eficiência desta luminária esteja abaixo de 40%.



**Figura 29 – Luminária ZE-107/1 da Reeme.**

Fonte: REEME, 2007, p.19.

Considerando que, na melhor hipótese, consiga um rendimento de 40%, o fluxo luminoso emitido pelo conjunto de luminária ZE107/1, lâmpada a Vapor de Sódio de 250 W e reator, é estimado em 10.000 lm.

Neste caso e para esta luminária, podemos concluir que a escolha da mesma foi fundamentada apenas no baixo custo de aquisição, devido às características luminotécnicas apresentadas e não será difícil encontrar uma opção que ofereça maior eficiência que esta.

Os reatores empregados neste projeto são da Philips (Figura 30) modelo VSTE250A26IGOS, com perdas de 33,5 W para as lâmpadas de 250 W e VSTE400A26IGOS, com perdas de 44,5 W para as de 400 W. É recomendada a troca dos reatores a cada troca de lâmpadas, devido ao seu desgaste natural, evitando a redução da vida útil da nova lâmpada.



**Figura 30 – Reator de alto fator de potência da Philips.**

Fonte: PHILIPS, 2009, p.76.

Estes reatores são desenvolvidos com componentes de qualidade comprovada pelo fabricante, o que garante longa vida útil e redução das perdas elétricas. Mesmo com este empenho do fabricante, as perdas aumentam o consumo de 10 a 15% da potência da lâmpada. Como o reator é indispensável para o funcionamento desta lâmpada, concluímos, neste caso, que esta é considerada uma boa escolha dentre as possíveis do mercado.

#### **4.1.2 Avaliação Econômica**

Para a avaliação econômica desta instalação consideraremos os custos com aquisição e operação. Não foi possível encontrar os dados referentes aos custos de instalação e manutenção deste projeto, devido ao tempo necessário para encontrar empresas que executem este serviço, além do tempo necessário para orçar o serviço.

O custo de aquisição de cada conjunto inclui a lâmpada, luminária e reator e pode ser resumido na Tabela 3.

Tabela 3 – Custo de aquisição das luminárias a Vapor de Sódio.

<b>Custo de aquisição – Luminárias a Vapor de Sódio</b>			
<b>Luminária</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
<b>Refletor 400 W</b>	13	450,50	5.856,50
<b>Refletor 250 W</b>	15	442,00	6.630,00
<b>Poste 250 W</b>	9	342,00	3.078,00
<b>Total</b>	37	-	15.564,50

Fonte: elaboração do autor.

Além das luminárias, para que estes conjuntos funcionem também é preciso considerar o custo com o cabeamento utilizado, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Custo de aquisição dos condutores.

<b>Custo de aquisição - Cabeamento</b>			
<b>Condutores</b>	<b>Quantidade (m)</b>	<b>Custo Unitário (R\$/m)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
<b>4 mm<sup>2</sup></b>	1.412	2,208	3.312,00
<b>6 mm<sup>2</sup></b>	1.792	3,256	5.860,80
<b>10 mm<sup>2</sup></b>	364	5,676	2.270,40
<b>Total</b>	3.568	-	11.443,20

Fonte: elaboração do autor.

Obs: Para o custo unitário destes cabos devemos considerar que estes são vendidos somente em rolos de 100 m.

Para se ter uma melhor avaliação econômica é necessário calcular o custo de operação deste tipo de iluminação, conforme a Equação 2.

$$\text{Custo} = \text{Consumo} \times \text{Tarifa}, \quad (\text{Equação 2})$$

onde: *Custo* em R\$;  
*Consumo* em kWh e  
*Tarifa* em R\$/kWh.

Sendo o consumo proporcional à potência, ao período útil e ao tempo decorrido, conforme a Equação 3.

$$\text{Consumo} = \text{Potência} \times \text{Período Útil} \times \text{Tempo}, \quad (\text{Equação 3})$$

onde: *Consumo* em kWh;  
*Potência* em kW;  
*Período Útil* em h/dia e  
*Tempo* em dias.

Para o cálculo do consumo mensal (Equação 2), será considerando a potência total mostrada na Tabela 2, de 12,5825 kW, o período útil de 12 h/dia e o tempo decorrido de 30 dias, logo, o consumo mensal calculado é de 4.529,7 kWh. Considerando este consumo e a tarifa da concessionária local, CELG, de R\$ 0,22927/kWh, e aplicando na Equação 3, o custo mensal é de R\$ 1.038,50, sem contabilizar os impostos.

Serão avaliados agora os custos dos equipamentos, considerando sua vida útil em anos. Para isto, será utilizada a Equação 4.

$$\text{Custo} (a) = \text{Custo Aquisição} \div \text{Vida Útil} (a), \quad (\text{Equação 4})$$

onde: *Custo (a)* em R\$/ano;  
*Custo Aquisição* em R\$ e  
*Vida Útil (a)* em anos.

Como a base escolhida foi anos, há a necessidade de realizar a conversão da vida útil fornecida pelo fabricante, em horas, conforme a Equação 5.

$$Vida\ Útil\ (a) = Vida\ Útil\ (h) \div (Período\ Útil \times 365), \quad (Equação\ 5)$$

onde: *Vida Útil (a)* em anos;

*Vida Útil (h)* em h e

*Período Útil* em h/dia.

Com isto, podemos calcular a *vida útil (a)* de cada equipamento, basta utilizar o período útil de 12 h/dia. Portanto, temos a vida útil das lâmpadas e reatores equivalentes a aproximadamente 5,5 anos e refletores estimado em 10 anos. Para o cabeamento utilizaremos a vida útil de 30 anos, referente ao tempo de concessão deste empreendimento, concedido pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Aplicando estes valores na Equação 4, calculamos o custo anual total de cada tipo de equipamento. Os resultados destes cálculos encontram-se na Tabela 5.

**Tabela 5 – Custo anual de aquisição das luminárias a Vapor de Sódio.**

<b>Custo de aquisição anual – Luminárias a Vapor de Sódio</b>			
<b>Equipamento</b>	<b>Vida Útil (anos)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>	<b>Custo Total Anual (R\$/ano)</b>
<b>Lâmpadas</b>	5,5	1.497,40	272,26
<b>Reatores</b>	5,5	1.864,33	338,97
<b>Luminárias</b>	10	12.198,00	1.219,80
<b>Cabeamento</b>	30	11.443,20	381,44

Fonte: elaboração do autor.

Colocando para a base anual, o custo de operação fica em R\$ 12.635,38/ano. Contabilizando os custos com operação e equipamentos, o custo anual desta

instalação fica em R\$ 14.847,85/ano. Como se pode observar, o custo de operação desta iluminação corresponde a 85% do custo total anual, devido ao alto consumo de energia elétrica das luminárias.

## 5 ALTERNATIVA DE ILUMINAÇÃO 1

Esta proposta visa atender a necessidade de iluminação da subestação, através do uso de luminárias de LED com alimentação por energia fotovoltaica, reduzindo custos e contribuindo com a redução do consumo de energia elétrica. As Figuras 31 a 34 exemplificam aplicações dos LEDs para iluminação.



**Figura 31 – Luminária LED de 30 W, substituta da lâmpada incandescente de 150 W.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.



**Figura 32 – Poste autônomo de iluminação a LED, com energia fotovoltaica.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.



**Figura 33 - Iluminação de rodovia com luminárias LED e energia fotovoltaica.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.



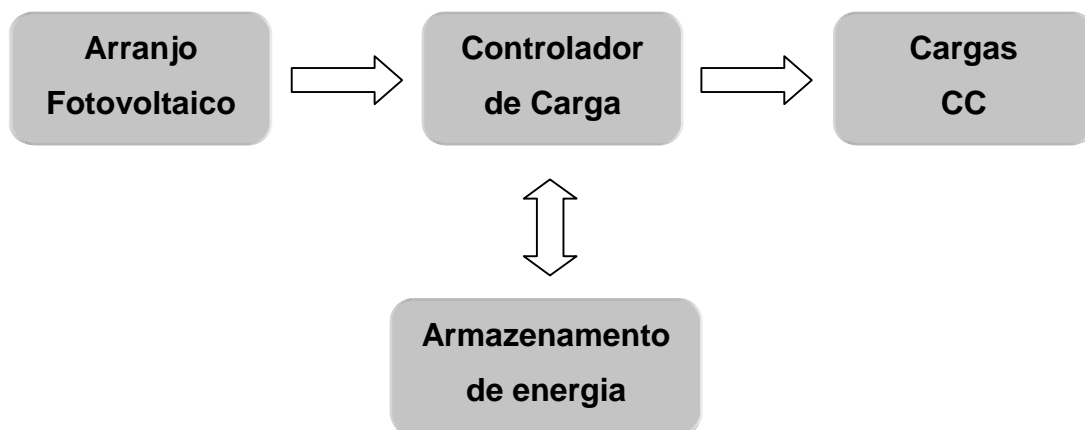


**Figura 34 - Iluminação de orla marítima com luminárias LED e energia fotovoltaica.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.

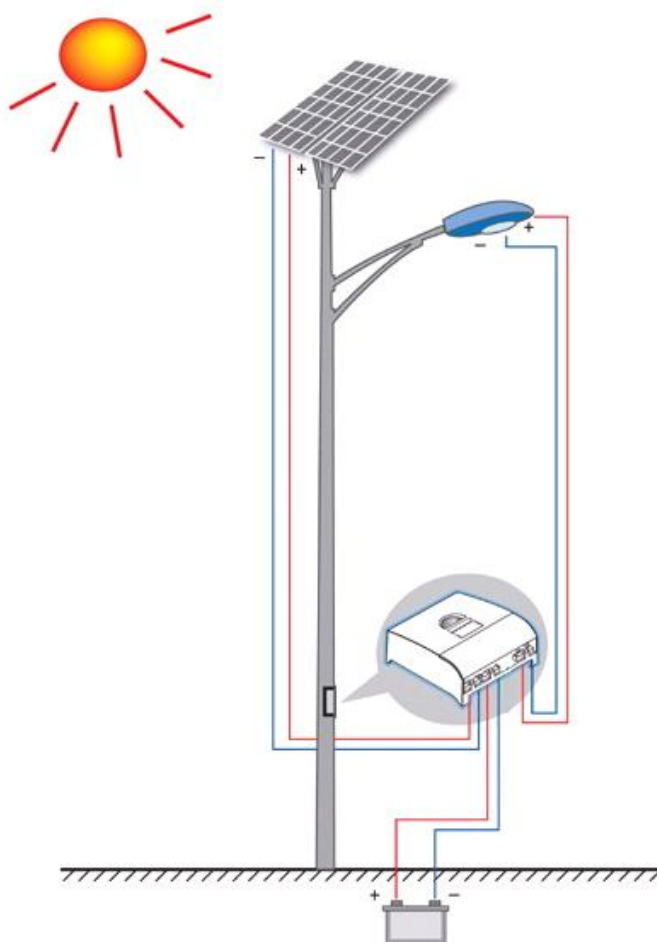
## **5.1 Equipamento**

Dentre os equipamentos necessários para este tipo de iluminação, destacamos a luminária LED, painel fotovoltaico, bateria e controlador de carga, para que seja possível o funcionamento do conjunto, conforme o diagrama de blocos das Figuras 35 e 36, para um sistema de baixa potência com armazenamento de energia.



**Figura 35 – Diagrama de blocos do conjunto.**

Fonte: elaboração do autor.



**Figura 36 – Diagrama esquemático do conjunto.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.

Para a substituição de cada projetor PR-17 com lâmpada a Vapor de Sódio de 400 W, será fornecido um conjunto composto por uma luminária LU6 de 112 W, do fabricante Base Solar (Figuras 37 e 38), dois painéis solares, cada um com 85 Wp, uma bateria de 200 Ah e um controlador de carga de 10 Ah. Cada conjunto será instalado no mesmo local de origem de seu respectivo projetor PR-17.



**Figura 37 – Poste de 2 pétalas, com luminárias LED LU6 de 112 W.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.



**Figura 38 - Luminárias LED LU6 de 112 W.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.

Da mesma forma que o anterior, cada projetor PR-17 com lâmpada a Vapor de Sódio de 250 W será substituída por um conjunto semelhante, diferindo apenas pela potência da luminária LU-6, que será de 90 W (Figura 39).



**Figura 39 – Instalação de luminária LU6 de 90 W.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.

No caso dos postes de iluminação das vias de acesso, com lâmpadas de 250 W, a melhor opção encontrada foi a utilização da lâmpada LED SP90, de 90 W, também do fabricante Base Solar.

### **5.1.1 Luminária**

Baseadas na tecnologia LED, com elevada eficiência luminosa, em torno de 185 lm/W, baixa emissão de calor, 85% de IRC, TCC de 3.500 K, luz branca e levemente amarelada e vida útil de 70.000 h, com reduzida depreciação do fluxo luminoso.

As luminárias do tipo LU6 são indicadas para iluminar grandes áreas e possuem curva de distribuição luminosa semelhante a do projetor PR-17, da Tecnowatt, porém de forma mais eficiente e com menos emissão de calor, reduzindo

o desgaste dos materiais, manutenção e atração aos indesejáveis insetos. Algumas de suas características não foram disponibilizadas pelo fabricante, devido à sua política interna, porém o mesmo garante a similaridade com a luminária já utilizada.

O modelo com 112 W possui fluxo luminoso de 21.000 lm (Figura 40), enquanto que o modelo de 90 W possui 16.000 lm.



**Figura 40 - Luminárias LED LU6 de 112W.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.

Já as lâmpadas LED SP90 (Figura 41) são indicadas para iluminação de vias públicas, sua curva de distribuição luminosa é compatível com as luminárias mais comuns encontradas nas vias públicas, garantida pelo fabricante. Este tipo de lâmpada possui fluxo luminoso de 16.000 lm e curva de distribuição luminosa semelhante à de uma luminária de iluminação pública comum, porém possui base de fixação no padrão E40, necessitando ainda de uma luminária adicional, compatível, que neste caso será uma SB-100, do fabricante Shomei (Figura 42). Esta luminária não interfere no fluxo luminoso da lâmpada LED, ela só tem a função de fixação e proteção contra chuva. A Figura 43 representa uma lâmpada LED SP90 já instalada em uma luminária.



**Figura 41 – Lâmpada LED SP-90.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.



**Figura 42 – Luminária SB-100, para a fixação da lâmpada LED SB-90.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.



**Figura 43 – Luminária com lâmpada LED SP-90.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.

Todas as luminárias e lâmpadas LED apresentadas podem ser alimentadas com 12 Vcc, 24 Vcc, 110 Vac ou 220 Vac, basta conectá-las à alimentação que, automaticamente, já reconhecem a tensão e o tipo de alimentação. Esta característica é um grande diferencial nos projetos de instalação, pois é possível alimentar as lâmpadas de várias formas distintas.

### 5.1.2 Painel Fotovoltaico

Para cada luminária serão utilizados dois painéis de 85 Wp, totalizando 170 Wp e operando em 24 Vcc. Trata-se de um painel convencional, com dimensões de 143,2 x 34,3 cm cada, amplamente encontrado nos fornecedores (Figura 44). Estima-se em média 4 dias para recarregar a bateria completamente, considerando insolação de 5 h/dia.



**Figura 44 – Painel fotovoltaico.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.

### 5.1.3 Bateria

Para cada luminária é necessária a utilização de uma bateria estacionária de 24 V e 200 Ah (Figura 45). Estas baterias tem a função de acumular energia para o funcionamento noturno das luminárias e são do tipo estacionária, suportam condições severas de temperatura, vibração e umidade.



**Figura 45 – Exemplo de bateria estacionária.**

Fonte: DELPHI FREEDOM, 2002, p.6.

Possui vida útil de 9 anos, muito superior as de chumbo-ácido tradicionais, alta confiabilidade, alta densidade de energia e permite a descarga profunda. Com a facilidade de não necessitar de manutenção e não oferecer risco de vazamento.

Esta bateria tem capacidade de alimentar as luminárias de 112 W por até 3,5 dias sem sol, o que é considerado uma boa autonomia para o conjunto.

#### **5.1.4 Controladores de Carga**

Os controladores de carga são do fabricante Phocos, modelo CML10, que opera com tensões de 12 V ou 24 V, automaticamente, e capacidade de corrente de 10 A (Figura 46). Baseado em microcontroladores e com tecnologia PWM, tem controle de estado e carga da bateria, alto rendimento e interface intuitiva.





Figura 46 – Controlador de Carga CML10 da Phocos.

Fonte: PHOCOS, 2010, p.1.

## 5.2 Avaliação Econômica

O custo das luminárias e demais componentes podem ser melhor observados na Tabela 6.

Tabela 6 – Custo de aquisição das luminárias LED, painéis fotovoltaicos e baterias.

Custo de Aquisição – Luminárias a LED + Fotovoltaica			
Equipamento	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Luminária LU6 112 W	13	1.800,00	23.400,00
Luminária LU6 90 W	15	1.600,00	24.000,00
Lâmpada LED SP90 + Luminária SB-100	9	900,00	8.100,00
Painel Fotovoltaico 85 Wp	74	1.105,00	81.770,00
Controlador de Carga CML10	37	110,00	4.070,00
Bateria 24 V – 200 Ah	37	920,00	34.040,00
<b>Total</b>	37 conjuntos	-	175.380,00

Fonte: elaboração do autor.

Seguindo o mesmo raciocínio dos cálculos do Capítulo 4, esta alternativa de iluminação não possui custo de operação, visto que as luminárias são supridas com energia fotovoltaica, logo restaram apenas os cálculos de aquisição destes equipamentos.

Estimando a vida útil dos painéis fotovoltaicos e controladores de carga em 30 anos. Convertendo a vida útil das luminárias LED de 70.000 h para anos, conforme Equação 5. Aplicando com os valores da Tabela 5 na Equação 4, calculamos os custos totais anuais para cada tipo de equipamento, conforme a Tabela 7:

**Tabela 7 – Custo anual de aquisição das luminárias LED, painéis fotovoltaicos e baterias.**

<b>Custo de Aquisição Anual – Luminárias a LED + Fotovoltaica</b>			
<b>Equipamento</b>	<b>Vida Útil (anos)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>	<b>Custo Total Anual (R\$/ano)</b>
<b>Luminária LU6 112 W</b>	16	23.400,00	1.462,50
<b>Luminária LU6 90 W</b>	16	24.000,00	1.500,00
<b>Lâmpada LED SP90 + Luminária SB-100</b>	16	8.100,00	506,25
<b>Painel Fotovoltaico 85 Wp</b>	30	81.770,00	2.725,67
<b>Controlador de Carga CML10</b>	60	4.070,00	135,67
<b>Bateria 24 V – 200 Ah</b>	9	34.040,00	3782,22

Fonte: elaboração do autor.

Somando-se todos estes custos, o custo anual total para esta instalação, iluminação LED com alimentação por fotovoltaica, será de R\$ 10.112,30.

Em uma análise inicial, observamos que esta alternativa não possui custo de operação, ou seja, não possui gastos com energia elétrica para a alimentação das luminárias, porém o custo com os equipamentos de captação e armazenamento de energia, ou seja, painéis fotovoltaicos, baterias e controladores de carga, correspondem a 65,7% do custo anual desta alternativa de iluminação.

## 6 ALTERNATIVA DE ILUMINAÇÃO 2

Esta nova proposta foi motivada após uma sucinta análise dos resultados das outras duas opções de iluminação. Na primeira com o alto custo com aquisição de energia elétrica e, na segunda, com o elevado custo em aquisição dos equipamentos de captação e armazenamento de energia.

Nesta opção, serão utilizadas as luminárias da proposta anterior, com as mesmas quantidades e especificações, porém sem a alimentação por energia fotovoltaica, ou seja, desta vez as luminárias serão ligadas na rede elétrica da concessionária de energia local, dispensando o uso de baterias, painéis fotovoltaicos e controladores de carga (Figuras 47 e 48).



**Figura 47- Projeto de iluminação de vias de acesso de um condomínio com a substituição das luminárias a Vapor de Sódio de 150 W, por luminárias LED de 60 W.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.



**Figura 48 - Iluminação de rodovia com luminárias LED.**

Fonte: BASE SOLAR, 2010.

## 6.1 Avaliação Econômica

Com a nova configuração do sistema de iluminação temos o custo de aquisição de equipamentos conforme a Tabela 8:

**Tabela 8 – Custo de aquisição das luminárias LED.**

<b>Custo de Aquisição – Luminárias a LED</b>			
<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço Unitário (R\$)</b>	<b>Preço Total (R\$)</b>
<b>Luminária LU6 112 W</b>	13	1.800,00	23.400,00
<b>Luminária LU6 90 W</b>	15	1.600,00	24.000,00
<b>Lâmpada LED SP90 + Luminária SB-100</b>	9	900,00	8.100,00
<b>Total</b>	37 luminárias	-	55.500,00

Fonte: elaboração do autor.

Devemos considerar o custo com cabeamento, mostrado na Tabela 4, que com a redução da demanda de energia, possivelmente conseguiremos reduzir a bitola dos condutores e, conseqüentemente, reduzindo ainda mais os custos desta instalação. Para definir exatamente qual a bitola utilizada em cada circuito faz-se necessário o desenvolvimento de um projeto de instalação elétrica otimizado, mas para este caso consideraremos o mesmo cabeamento já instalado, visto que trata-se de uma instalação existente.

Para este caso, também é necessária a análise do consumo de energia, conforme a tabela 9.

**Tabela 9 – Potência Elétrica Instalada – Iluminação a LED.**

<b>Potência Elétrica Instalada – Iluminação a LED</b>		
<b>Luminária</b>	<b>Patio 230 kV</b>	<b>Patio 138 kV</b>
<b>Luminária LU6 112 W</b>	13	-
<b>Luminária LU6 90 W</b>	-	15
<b>Lâmpada LED SP90 + Luminária SB-100</b>	3	6
<b>Potência Total (W)</b>	1.726	1.890
	3.616	

Fonte: elaboração do autor.

Semelhante ao cálculo do custo de operação do caso já implantado (Equação 2), a potência total mostrada na Tabela 9, de 3,616 kW, o período útil de 12 h/dia e o tempo decorrido de 30 dias, o consumo mensal calculado é de 1.301,76 kWh. Considerando este consumo e a tarifa da concessionária local, CELG, de R\$ 0,22927/kWh, e aplicando na Equação 3, o custo mensal é de R\$ 298,45, sem contabilizar os impostos.

Como nesta aplicação a alimentação será feita através da ligação com a rede, será necessário contabilizar o custo do cabeamento. Da mesma forma que no Capítulo 5, calculamos os custos totais anuais para cada tipo de equipamento, conforme a Tabela 10.

**Tabela 10 – Custo anual de aquisição das luminárias LED e cabeamento.**

<b>Custo de Aquisição Anual – Luminárias a LED + Fotovoltaica</b>			
<b>Equipamento</b>	<b>Vida Útil (anos)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>	<b>Custo Total Anual (R\$/ano)</b>
<b>Luminária LU6 112 W</b>	16	23.400,00	1.462,50
<b>Luminária LU6 90 W</b>	16	24.000,00	1.500,00
<b>Lâmpada LED SP90 + Luminária SB-100</b>	16	8.100,00	506,25
<b>Cabeamento</b>	30	11.443,20	381,44

Fonte: elaboração do autor.

Somando-se todos estes custos, o custo anual total para esta instalação, iluminação LED com alimentação por fotovoltaica, será de R\$ 7.417,43.

Observamos ainda que, o custo de operação foi reduzido a cerca de 48% do custo total anual desta proposta.

## 7 RESULTADOS

No âmbito da iluminação, os pontos que mais se destacam são a temperatura de cor de 3.500 K, IRC de 85% e vida útil de 16 anos, fornecidos pela iluminação a LED, aumentando o conforto visual e a capacidade de execução de tarefas, comparado à iluminação a Vapor de Sódio. Quanto ao fluxo luminoso emitido pelas luminárias podemos observar que as luminárias LED conseguem suprir satisfatoriamente. Os custos iniciais das Luminárias LED podem ser de 2,6 a 4 vezes o custo das luminárias a Vapor de Sódio, porém este alto custo é compensado pelo baixo custo de operação das mesmas, tornando-se viável sua implementação (Tabela 11).

**Tabela 11 – Comparativo das Luminárias.**

<b>Comparativo das Luminárias</b>					
<b>Equipamento</b>	<b>Vida Útil (anos)</b>	<b>Fluxo Luminoso (lm)</b>	<b>TCC (K)</b>	<b>IRC (%)</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>
<b>Luminária LU6 112 W</b>	16	21.000	3.500	85	1.800,00
<b>Luminária LU6 90 W</b>	16	16.000	3.500	85	1.600,00
<b>Lâmpada LED SP90 + Luminária SB-100</b>	16	16.000	3.500	85	900,00
<b>Projeto PR-17 + Vapor de Sódio 400 W</b>	10/5,5	21.500	2.000	23	450,50
<b>Projeto PR-17 + Vapor de Sódio 250 W</b>	10/5,5	12.500	2.000	23	442,00
<b>Projeto ZE107/1 + Vapor de Sódio 250 W</b>	10/5,5	10.000	2.000	23	342,00

Fonte: elaboração do autor.

Para a análise energética, a instalação atual com iluminação a vapor de sódio possui 12,58 kW de carga instalada, enquanto que na proposta de iluminação a LED com alimentação pela rede, somente 3,62 kW, gerando uma economia de 71,3% no

consumo de energia elétrica, o que corresponde a uma redução de 39.271,08 MWh no consumo de energia anual.

“Um painel solar consome uma quantidade enorme de energia para ser fabricado. A energia para a fabricação de um painel solar pode ser maior do que a energia gerada por ele.” (WIKIPEDIA, 2010). Estima-se que a energia gerada por um painel fotovoltaico, durante toda a sua vida útil, não se iguala à energia consumida em sua própria fabricação. O uso de painéis fotovoltaicos é defendido apenas em locais remotos, onde a construção de redes de distribuição se torna inviável pela distância.

Para agilizar a análise dos resultados no âmbito financeiro, o gráfico da Figura 49 representa o custo de iluminação de cada situação.

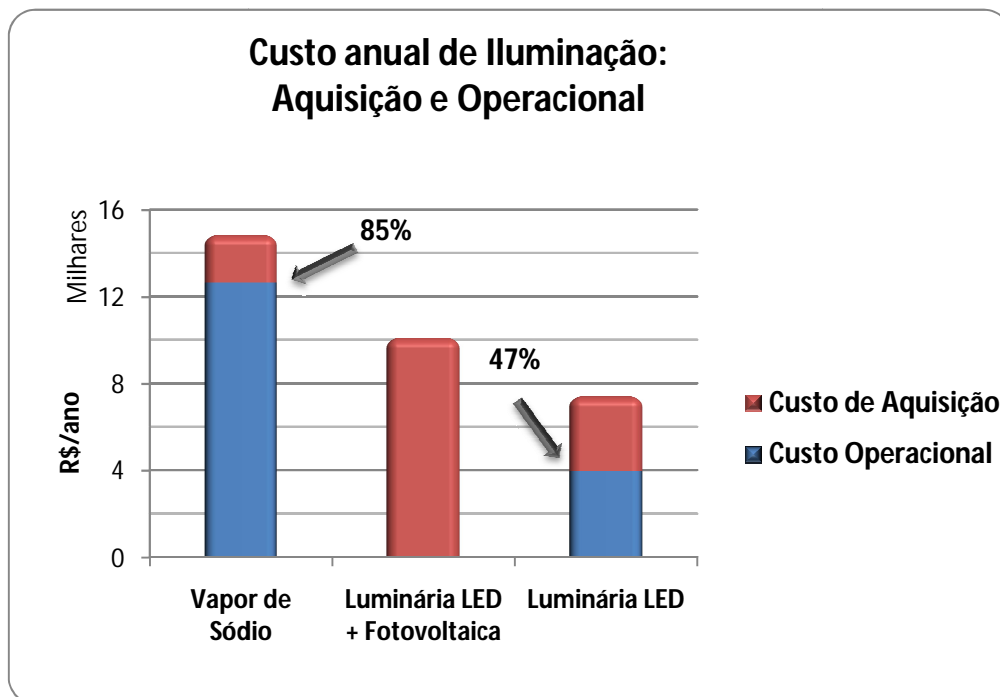


Figura 49 – Gráfico dos custos anuais de iluminação.

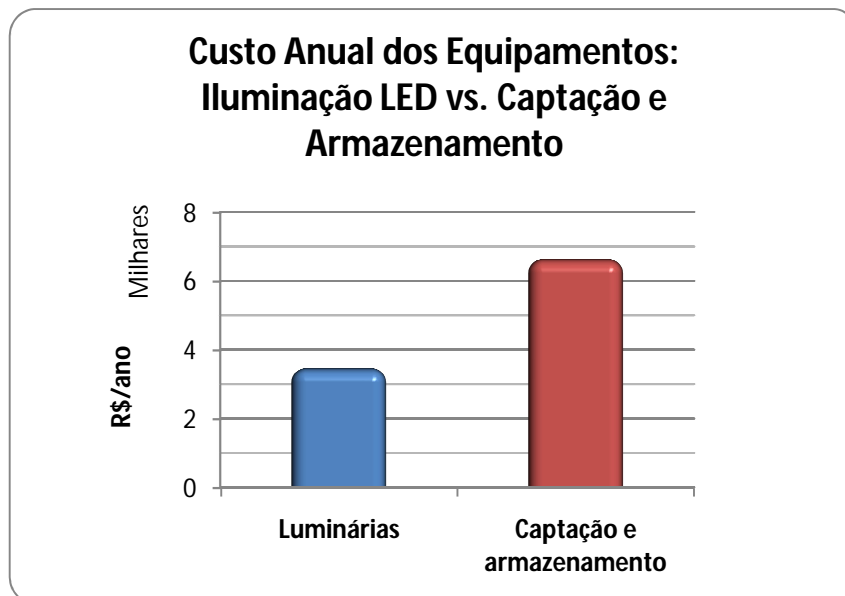
Fonte: elaboração do autor.

Como se pode verificar, a opção que apresenta o menor custo é a iluminação a LED com alimentação pela rede elétrica, com redução de 50,1% do custo anual da iluminação convencional a vapor de sódio, portanto, torna-se a alternativa mais indicada para este estudo.



Na instalação atual, os gastos com energia elétrica correspondem a 85% do total de gastos, enquanto que na proposta de iluminação por LED com alimentação pela rede, apenas 47%. Já na iluminação por LED com alimentação por fotovoltaica, todos os custos são por conta da aquisição de equipamentos.

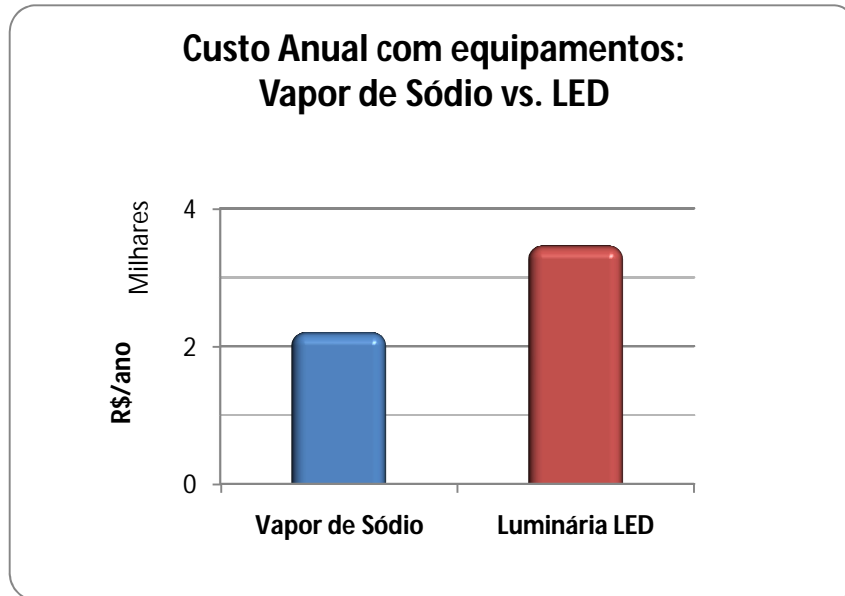
A redução do consumo de energia por parte dos LEDs viabilizou o uso da alimentação por fotovoltaica, porém os equipamentos utilizados para tal ainda possuem alto custo.



**Figura 50 – Gráfico do custo anual da iluminação a LED com alimentação fotovoltaica.**

Fonte: elaboração do autor.

Conforme mostrado no gráfico da Figura 50, os equipamentos utilizados para captação e armazenamento de energia, que compreendem os painéis, baterias e controladores de carga, de um sistema fotovoltaico são responsáveis por 66% do custo total deste tipo de iluminação autônoma, o que viabilizou o desenvolvimento da segunda proposta de iluminação contida neste trabalho, a iluminação a LED alimentada pela rede. O alto custo destes equipamentos é responsável por tornar mais vantajoso a alimentação pela rede elétrica, que mesmo apresentando um custo com consumo de energia, ainda é inferior ao dos equipamentos de captação e armazenamento de energia fotovoltaica.



**Figura 51 – Gráfico dos custos dos equipamentos de iluminação.**

Fonte: elaboração do autor.

No gráfico da Figura 51 podemos observar que o custo anual dos equipamentos de iluminação a LED é 50% maior que os de iluminação a Vapor de Sódio, mesmo o custo inicial de aquisição das luminárias a LED chegando a 4 vezes o valor das luminárias a Vapor de Sódio. Esta diferença é amortizada e torna-se um diferencial, devido ao baixo consumo de energia e a grande vida útil destes equipamentos.

## 8 CONCLUSÃO

Um dos objetivos do Ministério de Minas e Energia é garantir o suprimento para o crescimento da economia, que também é mensurável através do consumo de energia elétrica de uma população. Esta capacidade de mensurar depende tanto da quantidade consumida, quanto do modo como é consumido. Otimizar a forma de consumo de energia elétrica garante à população uma maior margem de desenvolvimento, sem que seja necessária a expansão da estrutura de produção e transporte de energia, contribuindo para um melhor redirecionamento dos aportes às áreas que mais necessitam.

Este trabalho foi baseado na ideia de tornar mais eficiente o consumo de energia elétrica de apenas uma subestação considerada de pequeno porte, na categoria de transmissão. Os resultados obtidos mostraram que, do ponto de vista financeiro, além de ser viável é vantajoso ao projeto de subestação implementar a tecnologia dos LEDs para a iluminação. Estes resultados podem e devem ser aplicados não só às demais subestações existentes no SIM - Sistema Interligado Nacional, quanto nas estruturas de grande porte, onde é mais perceptível as vantagens desta proposta de iluminação a LED.

Implementar estes estudos em uma construção real significa fomentar o uso de tecnologias a favor da nação e do meio ambiente. O aumento da demanda destes equipamentos torna o mercado mais competitivo, favorecendo o aperfeiçoamento da tecnologia e a redução dos custos de produção, e com isso aumentando a acessibilidade dos equipamentos aos consumidores de menor porte.

Contudo, faz-se necessário que, em cada setor haja o fomento às tecnologias e que o meio ambiente e seus recursos sejam melhor aproveitados, tornando consistente o suprimento das necessidades desta e das futuras gerações. Isto só será possível à medida que a sociedade absorva os conceitos da otimização e da preservação, em todos os estágios e aplicações.

## 8.1 Trabalhos Futuros

Para dar continuidade a este trabalho, pode-se empenhar na implementação desta proposta de iluminação, o que possibilitará a melhor avaliação dos benefícios, com medições concretas e levando em consideração fatores reais do ambiente e seus impactos.

Através dos estudos percebe-se a necessidade de expandir esta linha de pensamento às outras instalações, incluindo as de pequeno porte, sempre enfatizando a tecnologia LED. Em uma outra forma, pode-se avaliar outros pontos em uma instalação, que não são tão enfatizados.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MOREIRA, Vinícius de Araújo. *Iluminação e Fotometria Teoria e Aplicação*. São Paulo: Edgard Blucher, 1987.
- COSTA, Gilberto José Corrêa da. *Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação*. 3.ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5413: Iluminância de Interiores*. Rio de Janeiro. 1992.
- MARTE ENGENHARIA. *SE Jataí Iluminação Externa e Tomadas Setores 230/138 kV Planta Geral*. Rev.1. 2010. Documento Interno.
- CURADO, Isabela Baleeiro; SOUZA Marina Elizabeth Vaz; MADEIRA Elenice Yamagushi. *Diretrizes para citações e referências*. 4.ed. São Paulo: FGV-SP. 2007.
- FILHO, João Mamede. *Instalações Elétricas Industriais*. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- HARRIS, Tom, *Como Funcionam os LEDs*. Traduzido por HowStuffWorksBrasil. Disponível em <<http://eletronicos.hsw.uol.com.br/led.htm>>. Acesso em 15 de dezembro de 2010.
- REVISTA INFOVIAS, *A Iluminação pública do futuro já chegou!*, Disponível em <<http://www.revistainfovias.com.br/revista/materia.php?ed=dfsfsd8328fds789fhw3bf3fkj3hnrk03/2010&MID=6d584768b181799d20aead7a82ddf68d03/2010>>. Acesso em 15 de dezembro de 2010.
- WIKIPEDIA. Energia Solar. Disponível em <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia\\_solar#cite\\_note-9](http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar#cite_note-9)>. Acesso em 15 de dezembro de 2010.
- ENERGY, U. S. Department, LED Helps to Bring Color and Lights to Beijing Olympics. Disponível em <[http://www1.eere.energy.gov/international/news\\_detail.html?news\\_id=11937](http://www1.eere.energy.gov/international/news_detail.html?news_id=11937)>. Acesso em 15 de dezembro de 2010.
- BASE SOLAR, Disponível em <<http://www.basesolar.com.br/home.asp>>. Acesso em 15 de dezembro de 2010.
- DELPHI FREEDOM, *Baterias Estacionárias para Sistemas de Reserva de Energia*. 2002. Disponível em <[http://www.ectecnica.com.br/download/catalogo\\_delphi.pdf](http://www.ectecnica.com.br/download/catalogo_delphi.pdf)>. Acesso em 15 de dezembro de 2010.
- ITAIM. Catálogo Geral de Produtos 2008.
- PHILIPS. *Catálogo 2008*.
- OSRAM. *Manual Luminotécnico Prático*.
- OSRAM. *Iluminação: Conceitos e Projeto*.
- PRYSMIAN. *Tabela de Preços*. Novembro 2010.

PHOCOS. *Datasheet CMLNL*.

REEME. *Catálogo Geral de Iluminação 2007*.

TECNOWATT. *Simon Lighting, Catálogo Técnico 2010*.