

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ELÍDIO ARIMATÉIA FERREIRA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE LEDS E
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA PRAÇA DO VIVA
ANGELIM**

São Luís
2018

ELÍDIO ARIMATÉIA FERREIRA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE LEDS E
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA PRAÇA DO VIVA
ANGELIM**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Angel Fernando Torrico Caceres

São Luís

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Arimateia Ferreira, Elídio.

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE LEDS
E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA PRAÇA DO
VIVA ANGELIM / Elídio Arimateia Ferreira. - 2018.

64 f.

Orientador(a): Angel Fernando Torrico Caceres.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

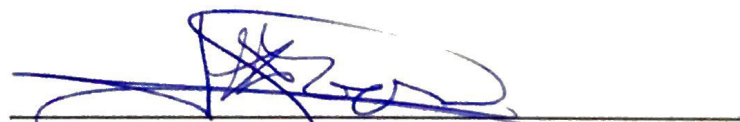
1. Eficiência energética. 2. Iluminação Pública. 3.
LED. 4. Sistemas Fotovoltaico. 5. Viabilidade Econômica.
I. Fernando Torrico Caceres, Angel. II. Título.

ELÍDIO ARIMATÉIA FERREIRA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE LEDS E
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA PRAÇA DO VIVA
ANGELIM**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

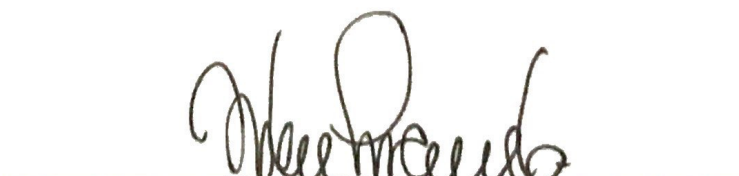
Aprovada em: 12 / 07 / 2018



Prof. Dr. Angel Fernando Torrico Caceres (Orientador)



Prof. M.Sc. Hipólito Cavalcante Correia



Prof. M.Sc. Nelson José Camelo

À memória de meu pai, Eldio Dias Ferreira,
que minha admiração eleve-me aos céus.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as coisas boas que ele me proporciona. Que me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

À minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. À minha mãe, Lurdinha, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada; seu cuidado e dedicação me deram a esperança para seguir. Ao meu pai, Eldio (*in memoriam*), por ter transmitido seus valores e lutado junto comigo; os seus cuidados e ensinamentos ficarão para sempre guardados em meu coração. Ele foi minha inspiração e minha fortaleza, a certeza de que eu sou a realização de vários dos seus sonhos.

À minha vó, Cacilda, não existem palavras capazes de expressar a sua importância nessa minha caminhada, minha principal influência como ser humano.

À minha irmã, Thais, ao meu cunhado, Michael e à minha sobrinha Melinda, pessoas com quem amo partilhar a vida. Obrigado pelo carinho, paciência e pela capacidade de me fazer sentir paz na correria de cada semestre.

À minha esposa, Fernanda, e à nossa filha, Eloísa – à elas toda a minha dedicação, meu esforço e minha vida. O maior bem que pude formar: a nossa família.

Aos meus amigos pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Com vocês, as pausas entre um parágrafo e outro de produção, melhora tudo o que tenho produzido na vida.

Ao professor Angel Fernando Torrico Caceres, por seus ensinamentos, paciência e confiança ao longo das supervisões das minhas atividades. Obrigado pela sua disponibilidade em investir seu tempo no meu estudo.

À todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena, o meu muito obrigado!

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade econômica para a troca de luminárias convencionais, por luminárias LEDS, realizando uma análise de meios para o seu funcionamento, juntamente com sistemas fotovoltaicos isolados. Para tal, o local de escolha foi a Praça do Viva, no bairro do Angelim em São Luís – MA. Busca-se obter um conceito de sustentabilidade, visto que a fonte primária que alimentará as luminárias será a energia solar, convertida em energia elétrica, por meio dos módulos fotovoltaicos. Essa situação aplica-se também, considerando o conceito de eficiência energética, no caso da substituição de luminárias convencionais por luminárias LED. Este estudo, apresenta uma análise técnica consolidada com os principais modelos de luminárias LED disponíveis no mercado brasileiro para iluminação pública. O principal objetivo deste trabalho é conhecer o sistema mais sustentável através de uma análise de custo e apresentar as ferramentas que sustentem o resultado encontrado. Por fim, todo o custo do projeto será estimado para que seja apresentado a vertente mais rentável.

Palavras-chave: Iluminação Pública; Viabilidade Econômica; Sistemas Fotovoltaico; Eficiência Energética; LED.

ABSTRACT

This work presents a study about the economic viability, performing an analysis of means, for the exchange of conventional luminaires for LEDs luminaires and also for their operation with isolated photovoltaic systems. In this way, the place chosen was the Viva Square in the district of Angelim in São Luís - MA. It seeks to obtain a concept of sustainability, since the primary source that will feed the luminaires will be granted by solar energy, converted into electricity by the photovoltaic modules. This situation also could be applied, considering the concept of energy efficiency, in the case of the replacement of conventional luminaires by LED luminaires. This study presents a consolidated technical analysis with the main models of LED luminaires available in the Brazilian market for public lighting. The main objective of this work is to know the most sustainable system through a cost analysis and to present the means that support the result found. Finally, the entire cost of the project will be estimated so that the most profitable aspect is presented.

Keywords: Public Lighting; Economic viability; Photovoltaic systems; Energy Efficiency; LED.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Lâmpada de vapor de mercúrio comum em sistemas de iluminação pública.....	23
Figura 2 –	Lâmpada de vapor de sódio tubular, comumente utilizada em sistemas de iluminação pública.....	23
Figura 3 –	Lâmpada a multivapor metálico iluminando uma quadra esportiva...	24
Figura 4 –	Reator externo para lâmpada a vapor de mercúrio.	25
Figura 5 –	Exemplo de relés fotoelétricos.....	26
Figura 6 –	Exemplo do funcionamento de uma luminária e do seu conjunto óptico.....	26
Figura 7 –	Exemplo de suporte em pétala para 4 luminárias.....	27
Figura 8 –	Estrutura básica de uma luminária LED para iluminação pública.....	28
Figura 9 –	Configuração básica de um sistema fotovoltaico isolado.	31
Figura 10 –	Célula de silício monocristalino.	32
Figura 11 –	Célula de silício policristalino.....	33
Figura 12 –	Célula de silício amorfo.	34
Figura 13 –	Luminária Pública LED Modular CLU-M200.....	42
Figura 14 –	Projeto LED modular CLF-MP200.....	43
Figura 15 –	Projeto LED modular CLF-MP300.....	43
Figura 16 –	Diagrama de blocos dos principais equipamentos de um sistema fotovoltaico autônomo.	47
Figura 17 –	Poste Solar Autônomo da empresa Cidade Solar.	48
Figura 18 –	Luminária Modular LED EXL1006/200.	49
Figura 19 –	Projeto LED modular EZL1006/175.....	50
Figura 20 –	Projeto LED modular EZL1006/305.....	50
Figura 21 –	Painel solar 270 Wp Policristalino Canadian Solar CS6K-270P.....	53
Figura 22 –	Bateria estacionária Moura Clean 12MF220.	54
Figura 23 –	Controlador de carga Epever TRIRON 2210N.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Comparação das características fundamentais dos principais tipos de lâmpadas.....	29
Tabela 2 –	Descrição do sistema de iluminação da Praça do Viva no Angelim..	41
Tabela 3 –	Dados técnicos e características da Luminária Pública LED Modular CLU-M200.....	42
Tabela 4 –	Dados técnicos e características Projetor LED modular CLF-MP200.	43
Tabela 5 –	Dados técnicos e características Projetor LED modular CLF-MP300.	44
Tabela 6 –	Demanda de potência ativa do sistema atual da Praça do Viva Angelim com luminárias convencionais existentes.....	44
Tabela 7 –	Demanda de potência ativa do sistema proposto para a Praça do Viva Angelim com luminárias LED.....	44
Tabela 8 –	Estimativa do consumo de energia elétrica do sistema atual e do sistema proposto para a Praça do Viva Angelim.	45
Tabela 9 –	Valor estimado total do projeto de substituição das luminárias da Praça do Viva Angelim.	46
Tabela 10 –	Detalhamento dos postes do atual sistema de iluminação da Praça do Viva Angelim.....	48
Tabela 11 –	Dados técnicos e características da Luminária Modular LED EXL1006/200.....	49
Tabela 12 –	Dados técnicos e características Projetor LED modular EZL1006/175.	50
Tabela 13 –	Dados técnicos e características Projetor LED modular EZL1006/305.	51
Tabela 14 –	Potência instalada em cada poste com Luminárias LED na praça do Viva Angelim.....	51
Tabela 15 –	Valores de irradiação solar média mensal em São Luís.....	52
Tabela 16 –	Especificações do painel fotovoltaico CS6K-270P.	53
Tabela 17 –	Especificações da bateria estacionária Moura Clean 12MF220.....	54
Tabela 18 –	Especificações do controlador de carga Epever TRIRON 2210N.	55

Tabela 19 – Quantidade total dos equipamentos requeridos para os sistemas fotovoltaicos isolados de cada poste da iluminação pública da Praça do Viva Angelim.....	57
Tabela 20 – Valor total do sistema proposto considerando um período 20 anos..	58

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COPEL	Companhia paranaense de energia.
CEMAR	Companhia energética do maranhão
ABILUX	Associação brasileira da indústria de iluminação
CREESEB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IRC	Índice de Reprodução de Cor
LED	Light Emitting Diodo - Diodo Emissor de Luz
MPPT	Maximum Power Point Traking - Rastreamento do Ponto de Máxima Potência
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
PC-LEDS	Phosphor converted LEDES
HB-LEDS	High Brightness LEDES
HP-LEDS	High Power LEDES
SFI	Sistemas fotovoltaicos isolados
STC	Standart test conditions
PWM	Pulse with modulation

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Contextualização	16
1.2	Objetivos.....	17
1.2.1	Objetivos Gerais	17
1.2.2	Objetivos Específicos.....	17
1.2.3	Estrutura do Trabalho	18
2	ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20
2.1	Conceitos e unidades utilizadas em iluminação.....	20
2.1.1	Fluxo Luminoso (lm)	20
2.1.2	Eficiência luminosa (lm/W).....	20
2.1.3	Iluminamento ou Iluminância (lux)	21
2.1.4	Temperatura da cor (kelvin).....	21
2.1.5	Índice de reprodução de cor (IRC).....	21
2.2	Principais equipamentos de iluminação pública	21
2.2.1	Lâmpadas	21
2.2.1.1	Lâmpada a vapor de mercúrio em alta pressão.....	22
2.2.1.2	Lâmpada a vapor de sódio em alta pressão	23
2.2.1.3	Lâmpada a multivapores metálicos.....	24
2.2.2	Reatores	24
2.2.3	Ignitores	25
2.2.4	Relé fotoelétrico	25
2.2.5	Luminárias	26
2.2.6	Sistema de fixação.....	27
2.3	LEDs orientados a iluminação pública	27
2.3.1	Luminárias LEDs para iluminação pública.....	28
2.3.2	Análise comparativa entre luminárias LED e luminárias convencionais	29
2.3.3	Possíveis efeitos prejudiciais a saúde da tecnologia LED.	29
3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS	31
3.1	Módulo fotovoltaico.....	31
3.1.1	Células de silício monocristalino	32

3.1.2	Células de silício policristalino	32
3.1.3	Células de silício amorfo	33
3.1.4	Características elétricas dos módulos fotovoltaicos.....	34
3.1.4.1	Potência de pico	34
3.1.4.2	Tensão de potência de pico (V_{max}).....	34
3.1.4.3	Corrente de potência de pico (I_{max})	35
3.1.4.4	Corrente de curto-circuito (I_{sc}).....	35
3.1.4.5	Tensão de circuito aberto.....	35
3.2	Associação de módulos fotovoltaicos.....	35
3.2.1	Módulos fotovoltaicos conectados em série.....	35
3.2.2	Módulos fotovoltaicos conectados em paralelo.....	36
3.3	Baterias.....	36
3.3.1	Capacidade.....	37
3.3.2	Ciclo	37
3.3.3	Descarga.....	37
3.3.4	Eficiência.....	37
3.3.5	Profundidade de descarga	38
3.3.6	Taxa de carga	38
3.3.7	Taxa de descarga	38
3.3.8	Vida útil	39
3.4	Controladores de carga.....	39
4	VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LEDS NA PRAÇA DO VIVA ANGELIM	41
4.1	Diagnóstico da situação atual	41
4.2	Descrição e detalhamento das novas luminárias LEDS a serem instaladas	42
4.3	Estimativa da demanda e consumo de energia elétrica com a instalação das novas luminárias LED.....	44
4.4	Avaliação econômica entre o sistema convencional e o sistema proposto com luminárias LED.....	45
5	VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS NOS POSTES DA PRAÇA DO VIVA NO ANGELIM	47

5.1	Descrição do projeto	47
5.2	Diagnóstico da situação atual	48
5.3	Descrição e detalhamento dos materiais.....	49
5.3.1	Luminárias LED	49
5.3.2	Dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos isolados	51
5.3.2.1	Poste com potência instalada de 200 W.....	52
5.3.2.2	Postes com potência instalada de 400 W	55
5.3.2.3	Postes com potência instalada de 525 W	56
5.3.2.4	Postes com potência instalada de 800 W	56
5.3.2.5	Postes com potência instalada de 1105 W	56
5.4	Viabilidade do sistema proposto.....	57
6	RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	59
6.1	Trabalhos futuros	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, significantes investimentos vêm sendo feitos visando melhorar o acesso e a qualidade nos sistemas de iluminação pública do país, além dos impactos nos aspectos socioeconômicos, tais investimentos tem como finalidade principal melhorar a eficiência energética, reduzindo assim o consumo de energia elétrica. Dados da ANEEL mostram que somente no ano de 2016 os sistemas de iluminação pública do Brasil geraram uma receita de fornecimento de energia elétrica na casa dos 4 bilhões de reais, desse modo a introdução de energias renováveis de forma direta em situações pontuais pode se mostrar uma alternativa considerável.

1.1 Contextualização

O estímulo ao uso eficiente de energia e a busca contínua por fontes alternativas de energia é a maneira encontrada para diminuir situações causadas pelo exagerado uso dos recursos energéticos, além de facilitar o acesso à energia elétrica em locais que não possuem rede elétrica, sem comprometer o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida.

Inicialmente, o sistema de iluminação pública no Brasil fazia o uso de lâmpadas incandescentes. Após alguns anos, novas tecnologias de fonte luminosas foram aparecendo e transformando o mundo da iluminação, dentre elas: lâmpadas de luz mista, a vapor de mercúrio e a vapor de sódio de alta pressão. O aparecimento de tecnologias mais eficientes e mais duradouras, com menor consumo de energia e menor frequência na realização de manutenção, explica a constante mudança de lâmpadas no setor de iluminação pública. (EPE, 2014).

Apresentando enorme durabilidade e eficiência energética, surge a tecnologia LED (*Light Emitting Diode* - diodo emissor de luz). No atual estágio tecnológico, torna-se possível sua implementação em grande quantidade, pois além de estar em desenvolvimento constante, apresenta um crescimento contínuo de eficiência. (RODRIGUES, 2012).

Apesar de haver estudos e pesquisas sobre a tecnologia LED, sistemas fotovoltaicos e o seu uso, poucas pessoas conhecem de fato como funcionam e consideram apenas o seu elevado valor financeiro. Assim, é preciso considerar o custo x benefício, além do custo total de um sistema de iluminação, desde sua

especificação, instalação até a troca quando deixarem de funcionar adequadamente. Segundo Sales (2011), se compararmos LEDS com lâmpadas convencionais e sistemas fotovoltaicos com sistemas convencionais, custos com energia e reposição devem ser considerados. Tendo em vista os aspectos positivos que essas tecnologias podem oferecer, percebe-se uma pequena utilização de lâmpadas LED na iluminação pública, bem como o uso de sistemas fotovoltaicos. Com o constante avanço tecnológico, a tendência é de mudança nesse panorama.

O uso de energia fotovoltaico, a popularização desta tecnologia e principalmente a diminuição dos custos, fizeram com que este tipo de fonte parasse de ser exclusivamente de fins tecnológicos para ser apresentado e disponibilizado de uma maneira mais acessível para a população em geral. (BRAGA, 2007).

A principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho foi o desejo de conhecer o custo x benefício acerca da aplicabilidade de sistemas de iluminação pública utilizando luminária LED e sistemas fotovoltaicos na substituição do sistemas convencionais e contribuir com informações relevantes a fim de se facilitar a aplicação dessa tecnologia, a partir do conhecimento da viabilidade econômica em maiores proporções na iluminação pública.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Descreve-se aqui um estudo acerca da viabilidade econômica para instalação de LEDS e Sistemas fotovoltaicos na Iluminação Pública da Praça do VIVA – Angelim na cidade de São Luís - MA, bem como as principais tecnologias utilizadas na atualidade no setor, aplicando estudos de viabilidade técnica e econômica para utilização de energia solar como fonte principal de alimentação e assim, conhecer o custo x benefício encontrado após as análises feitas.

1.2.2 Objetivos Específicos

A proposta deste trabalho, para melhor organizar a apresentação da metodologia aplicada e propiciar sua adequada compreensão, busca atingir os seguintes objetivos específicos:

- Conhecer e apresentar as principais tecnologias aplicadas nos Sistemas de Iluminação Pública;
- Analisar as principais características e tecnologias aplicadas na utilização de energia solar fotovoltaica;
- Realizar levantamento dos pontos de Iluminação para realização da pesquisa no local de estudo;
- Apresentar um estudo sintético da substituição de luminárias convencionais, existentes no local do estudo, por luminárias LED. Assim como a utilização de Sistemas Fotovoltaicos autônomos para alimentá-las, verificando o impacto financeiro causado através da análise custo x benefício.
- Avaliar e apresentar o perfil mais rentável a partir das análises feitas acerca do custo x benefícios da substituição das luminárias.

1.2.3 Estrutura do Trabalho

Esta monografia, incluindo este introdutório, apresenta quatro capítulos organizados como segue:

- O Capítulo 2 é referente às características da Iluminação Pública, abrangendo sua evolução, grandezas e unidades. Apresenta ainda os equipamentos e LEDs, sua utilização – descrevendo os seus principais pontos e mostrando as dificuldades encontradas;
- No Capítulo 3 são descritos os sistemas fotovoltaicos cuja abordagem refere-se as suas características apresentando um apanhado geral que deve ser levado em consideração para a sua aplicabilidade.
- O Capítulo 4 faz um estudo referente a viabilidade econômica da substituição de luminárias convencionais por luminárias LED. Apresenta também um diagnóstico da situação atual, uma estimativa da demanda e a realização de uma análise de custo dessa substituição.
- O Capítulo 5, assim como o capítulo anterior, realiza também um estudo voltado para a substituição de luminárias convencionais, porém incluindo a utilização de sistemas fotovoltaicos isolados, realizando uma análise

de custo x benefício em simulação para a iluminação pública da Praça do Viva no Angelim em São Luís - MA.

- O Capítulo 6 encerra o presente trabalho apresentando alguns comentários finais de avaliação e análise crítica, no qual as conclusões obtidas referem-se aos objetivos propostos neste estudo.

2 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Uma das finalidades do serviço de iluminação pública, conforme NBR 5101 (ABNT, 2012a) é a de fornecer visibilidade para trânsito, logradouros públicos, pedestres nas calçadas, parque e praças no período noturno, incluindo aqueles locais que necessitam de iluminação permanente mesmo quando houver claridade.

Proporcionar a quantidade de luz necessária para garantir a segurança, eficiência e conforto nas atividades realizadas é uma das metas de qualquer projeto de iluminação pública. Segundo a COPEL (2012), é possível proporcionar um ambiente onde medidas contra ofuscamento e manutenção da uniformidade ocorram quando há seleção correta das lâmpadas levando em consideração a reprodução de cores. Utilizar lâmpadas e luminárias que sejam energeticamente eficientes é desenvolver um projeto que esteja ecologicamente correto, diminuindo a poluição luminosa.

2.1 Conceitos e unidades utilizadas em iluminação

A seguir serão apresentados alguns termos luminotécnicos e elétricos básicos necessários para a compreensão dos demais capítulos deste trabalho.

2.1.1 Fluxo Luminoso (lm)

Fluxo luminoso é definido como a quantidade de luz produzida por uma fonte, através da energia emitida pela radiação em todas as direções, sua unidade é o lúmen (lm). (SILVA, 2006).

2.1.2 Eficiência luminosa (lm/W)

Eficiência luminosa é definida como a relação entre o fluxo luminoso total emitido por uma fonte e a potência consumida, sua unidade é lúmen por Watt (lm/W). (SILVA, 2006).

2.1.3 Iluminamento ou Iluminância (lux)

Iluminância é o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, sendo assim sua unidade é o lúmen por metro quadrado (lm/m^2), denominada de lux. (SILVA, 2006).

2.1.4 Temperatura da cor (kelvin)

Temperatura da cor é um parâmetro relacionado com a sensação de conforto que uma lâmpada proporciona em um determinado ambiente. Quanto maior for o valor de temperatura da cor de uma fonte luminosa, mais branca será a luz emitida pela mesma. Ao contrário, quanto mais baixo for a temperatura da cor da fonte de luz, mais amarelada esta será. A unidade de temperatura da cor é o Kelvin (K), as fontes luminosas artificiais podem variar entre 2000 K, muito quente, até mais de 10000 K, muito fria. (COPEL, 2012).

2.1.5 Índice de reprodução de cor (IRC)

O IRC é definido como a medida de cor real de uma superfície e sua aparência a ser iluminada pela fonte artificial, é quantificado de 0 a 100. Uma fonte luminosa com IRC de 100% é a que apresenta as cores de um objeto com a máxima fidelidade possível. (COPEL, 2012).

2.2 Principais equipamentos de iluminação pública

Os sistemas de iluminação pública são caracterizados por todo o conjunto que compõe e propicia a iluminação (SILVA, 2006). A seguir serão apresentados os principais componentes de um sistema de iluminação pública.

2.2.1 Lâmpadas

A lâmpada é o principal componente dos sistemas de iluminação pública, esta transforma energia elétrica em energia luminosa e/ou energia térmica (LOPES, 2002). A potência e o fluxo luminoso nominal da lâmpada são os dados que caracterizam o

sistema de iluminação pública, porém todos os outros componentes do sistema devem atuar de forma integrada que seja efetivamente aproveitado todo o fluxo luminoso que é produzido pela lâmpada. (SILVA, 2006).

Atualmente, as lâmpadas de descarga em alta pressão são as mais utilizadas nos sistemas de iluminação pública (SCHUCH *et al.*, 2011). Neste tipo de lâmpada o fluxo luminoso é produzido, direta ou indiretamente, pela passagem de corrente elétrica através de uma mistura gasosa composta de gases inertes e vapores metálicos. Essa mistura de gases é confinada em um invólucro translúcido, chamado de tubo de descarga, que contém em suas extremidades eletrodos que são responsáveis pela interface entre a descarga e o circuito elétrico de alimentação (NOGUEIRA, 2013). A seguir são apresentados os tipos de lâmpadas de descargas mais utilizados nos sistemas de iluminação pública.

2.2.1.1 Lâmpada a vapor de mercúrio em alta pressão

Comercializada desde 1908, tem o seu princípio de funcionamento baseado na produção de luz através da excitação de gases provocada por corrente elétrica. Em sua partida, ocorre a ionização de um gás inerte, geralmente o argônio, provocando um aquecimento no bulbo fazendo evaporar o mercúrio e produzindo uma luz amarelada devido a migração de elétrons. Posteriormente, há a ionização do mercúrio e, então, as colisões entre os seus elétrons livres com o argônio produzem uma luz azulada. A composição dos dois processos é o resultado obtido dessa lâmpada. Após a partida, as lâmpadas de vapor de mercúrio em alta pressão apresentam uma alta condutância, sendo necessária a utilização de reatores para limitar a corrente elétrica de alimentação. (COPEL, 2012).

Figura 1 – Lâmpada de vapor de mercúrio comum em sistemas de iluminação pública.



Fonte: Extraído de COPEL (2012).

2.2.1.2 Lâmpada a vapor de sódio em alta pressão

Comercializada desde 1955, tem princípio de funcionamento similar ao das lâmpadas de vapor de mercúrio, porém tendo como diferença básica a adição de sódio. Suas características físicas exigem que sua partida seja feita através de um pico de tensão da ordem de alguns quilovolts com duração na ordem de micro segundos. Atualmente, são largamente empregadas em sistemas de iluminação pública, devido a sua considerável eficiência, o lado negativo é o seu baixo IRC e a cor amarelada da luz emitida. (COPEL, 2012).

Figura 2 – Lâmpada de vapor de sódio tubular, comumente utilizada em sistemas de iluminação pública.



Fonte: Extraído de COPEL (2012).

2.2.1.3 Lâmpada a multivapores metálicos

Comercializada desde 1964, este tipo de lâmpada é uma evolução da lâmpada a vapor de mercúrio e fisicamente é similar a uma lâmpada de vapor de sódio. O seu princípio de funcionamento é basicamente o mesmo, porém a adição de iodetos metálicos fez com que a fonte luminosa se tornasse mais eficiente e com maior IRC. O seu efeito visual obtido é de brilho intenso, esse tipo de lâmpada é bastante empregada em locais em que se busca também o embelezamento urbano. (RODRIGUES, 2012).

Figura 3 – Lâmpada a multivapor metálico iluminando uma quadra esportiva



Fonte: Extraído do site Olympia (2018).

2.2.2 Reatores

Como a grande maioria das lâmpadas utilizadas em iluminação pública são as de descarga, os reatores são equipamentos fundamentais destes sistemas. O reator é um dispositivo externo a lâmpada, que possui impedância positiva, a fim de estabilizar a corrente no ponto de operação nominal. (NOGUEIRA, 2013).

Figura 4 – Reator externo para lâmpada a vapor de mercúrio.



Fonte: Extraído de COPEL (2012).

2.2.3 Ignitores

É um dispositivo utilizado para acionar lâmpadas de vapor de sódio e de multivapores metálicos. Funcionam gerando pulsos de alta tensão, na ordem de quilovolts, para que sejam ionizados os gases existentes no tubo de descarga, fazendo com que se estabeleça uma corrente no seu interior, sendo que o pulso de tensão necessário para a ignição da lâmpada é proporcional ao tamanho do tubo de descarga e a potência da lâmpada em questão. (RODRIGUES, 2012).

2.2.4 Relé fotoelétrico

Também conhecido como fotocélulas, são utilizados para controlar o acendimento e o desligamento das lâmpadas de forma automática de acordo com a luminosidade do ambiente. Podem controlar o acendimento de um ponto individual ou de um grupo de lâmpadas. Seu princípio de funcionamento basicamente consiste na abertura e fechamento de um contato elétrico, como já dito, de acordo com a luminosidade do ambiente. (RODRIGUES, 2012).

Figura 5 – Exemplo de relés fotoelétricos

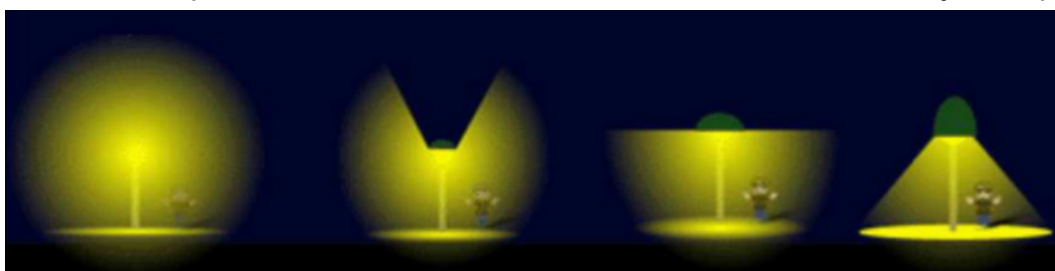


Fonte: Extraído de COPEL (2012).

2.2.5 Luminárias

As luminárias são equipamentos responsáveis por abrigar a lâmpada, protegendo-a de variações de clima e agentes externos. São compostas por um conjunto óptico, composto de refletor e difusor, que tem a função de direcionar o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas para iluminar apenas as áreas de interesse, reduzindo, assim, a poluição luminosa causada pela dispersão de luminosidade, exemplificada na figura 6. (COPEL, 2012).

Figura 6 – Exemplo do funcionamento de uma luminária e do seu conjunto óptico.



Fonte: Extraído de COPEL (2012).

Atualmente, os requisitos particulares para as luminárias destinadas à iluminação pública, são regidos pela norma nacional NBR 15129 (ABNT, 2012b), publicação de 2012.

2.2.6 Sistema de fixação

São os braços ou suportes que têm a função de sustentar as luminárias e servir de eletroduto para a fiação necessária que conecta o ponto de iluminação à rede elétrica. Com relação a adequada distribuição da luminosidade, o ângulo de fixação da luminária é de fundamental importância, pois pode comprometer o conjunto óptico. Além disso, os braços ou suportes, devem ser suficientemente resistentes mecanicamente para suportar o peso das luminárias e também os esforços provocados por variações climáticas e agentes externos (COPEL, 2012). Atualmente, existem inúmeras possibilidades de construção de braços e suportes para iluminação pública, variando a escolha de acordo com a necessidade do local de instalação.

Figura 7 – Exemplo de suporte em pétala para 4 luminárias.



Fonte: Extraído do site TOTAL LIGHT (2018).

2.3 LEDS orientados à iluminação pública

Os LEDs, ou diodos emissores de luz, são dispositivos semicondutores constituídos por dois materiais diferentes, que formam uma junção do tipo PN, que permite fluxo de corrente em apenas uma direção. Quando a junção PN é polarizada diretamente, as lacunas na camada P e os elétrons na cama N movem-se em direção a região de depleção, que é a área de transição entre os materiais P e N. Nessa região, a recombinação de elétrons e lacunas gera energia que é liberada sob a forma de fótons de luz. (NOGUEIRA, 2013).

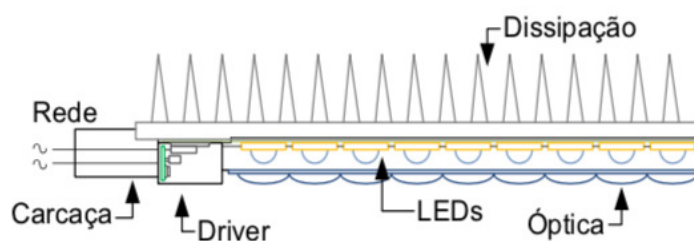
Os LEDs mais aplicados em sistemas de iluminação pública são os PC-LEDs (*Phosphor converted LEDs*), que podem ser divididos em dois grupos: Os LEDs de

alto brilho, HB-LEDs (*High Brightness LEDs*), que trabalham em baixos níveis de potência com correntes nominais típicas de 20 mA; E os LEDs de alta potência, HP-LEDs (*High Power LEDs*), que trabalham em elevados níveis de potência com correntes nominais que chegam até a 1,5 A. Os HP-LEDs possuem maior fluxo luminoso, sendo mais eficaz do que os HB-LEDs. (RODRIGUES *et al.*, 2011).

2.3.1 Luminárias LEDs para Iluminação pública

A seguir é exemplificada uma estrutura simplificada de uma luminária LED aplicada em iluminação pública, composta basicamente por quatro partes.

Figura 8 – Estrutura básica de uma luminária LED para iluminação pública.



Fonte: Extraído de Nogueira (2013).

A estrutura óptica é composta por lentes, colimadores e refletores, que auxiliam devido ao pequeno ângulo de abertura do feixe luminoso emitido pelos LEDs. Em alguns modelos, o aumento da abertura do feixe luminoso é realizado através da curvatura da superfície de montagem dos LEDs. (NOGUEIRA, 2013).

A estrutura de dissipação de calor geralmente compõe a carcaça da luminária, e é responsável por fazer a transferência de calor gerado pela junção dos LEDs para o ambiente. Em LEDs de alta potência, estima-se que de 15% a 30% da potência de entrada é convertida em luz, sendo que todo o resto é convertida em calor. (LIU *et al.*, 2010).

O driver é responsável pelo acionamento e controle dos LEDs, adequando o nível da corrente de alimentação do conjunto. Além de prover o correto funcionamento dos LEDs, eles podem incorporar uma série de funcionalidades à luminária, como dimerização, telecomunicação etc. (NOGUEIRA, 2013).

2.3.2 Análise comparativa entre luminárias LED e luminárias convencionais

Com base no estudo feito por Sales (2011) e nos catálogos das luminárias LEDs dos fabricantes contactados presentes nos anexos, a tabela 1 apresenta uma análise comparativa entre as luminárias convencionais e as luminárias LEDs. São considerados apenas os aspectos principais, expondo valores máximos e mínimos presentes nos catálogos, que variam de fabricante para fabricante.

Tabela 1 – Comparação das características fundamentais dos principais tipos de lâmpadas.

Tipo de Lâmpada	Eficiência luminosa (lm/W)	Vida útil (h)	IRC (%)	Temperatura da cor (K)
Vapor de mercúrio	46 - 55	9.000 - 15.000	40 - 55	3.900 - 4.300
Vapor metálico	82 - 104	8.000 - 12.000	65 - 85	3.000 - 4.200
Vapor de sódio	80 - 150	18.000 - 32.000	22	1.950 - 2.800
LED	35 - 130	50.000 - 100.000	75 - 95	5.000 - 6.500

Fonte: O próprio autor (2018).

Dos dados acima, observa-se que os LEDs apresentam vantagens claras em basicamente todos os aspectos.

2.3.3 Possíveis efeitos prejudiciais a saúde da tecnologia LED.

Realizando uma análise crítica de artigos que abordam os efeitos prejudiciais à saúde com relação a aplicabilidade de lâmpadas LEDs em iluminação pública, atenta-se para o possível aumento de problemas sistêmicos.

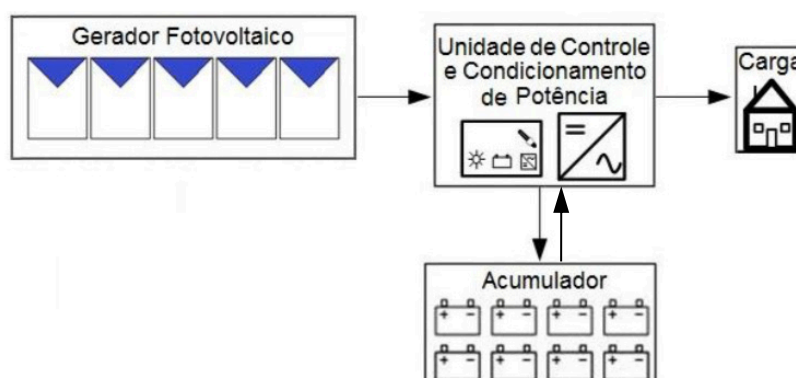
Apesar das lâmpadas LEDs apresentarem a vertente mais rentável atualmente para compor o quadro de iluminação pública, deve-se atentar-se para alguns aspectos importantes: segundo a *American Medical Association* (2016), elas podem apresentar um lado prejudicial pelo aumento da emissão de luz azul, podendo piorar a visão noturna, causando desconforto e, em certos casos, trazendo desabilidade visual, o que pode causar riscos no trânsito. Além disso, o excesso de luz azul pode comprometer a produção de melatonina a noite (alterando o ciclo de produção), o que acarreta em distúrbio do sono, obesidade e risco aumentado de câncer.

Vale ressaltar que os possíveis malefícios causados por LEDs não estão presentes somente nas fontes destinadas a iluminação de ambientes, mas também em tecnologias existentes e popularmente usuais – como tvs e smartphones –, que possuem estudos mais detalhados acerca dos prejuízos que podem causar na visão, no sono e nas citações feitas no parágrafo acima. Com isso, percebe-se que, apesar da vantagem econômica, a aplicabilidade desse tipo de fonte luminosa ainda pode trazer desvantagens desconhecidas que necessitam de mais estudos, analisando possíveis impactos a saúde que poderão ser detectados somente ao longo do tempo. (WUNSCH, 2016).

3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados principalmente de duas formas: isolados ou conectados à rede de energia. Em ambos os casos a fonte principal de energia é o sol. Os sistemas fotovoltaicos isolados (SFI) ou autônomos, geralmente necessitam de algum tipo de armazenamento de energia, em sua maioria estes utilizam-se de baterias ou banco de baterias para a operação das cargas, quando em períodos em que não haja geração fotovoltaica. Outra unidade essencial para o funcionamento de um sistema fotovoltaico isolado, responsável pelo controle e condicionamento de potência, é o controlador de carga (PINHO; GALDINO, 2014). Neste capítulo, serão apresentadas as características dos componentes básicos de um sistema fotovoltaico isolado.

Figura 9 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico isolado.



Fonte: Extraído de Pinho e Galdino (2014).

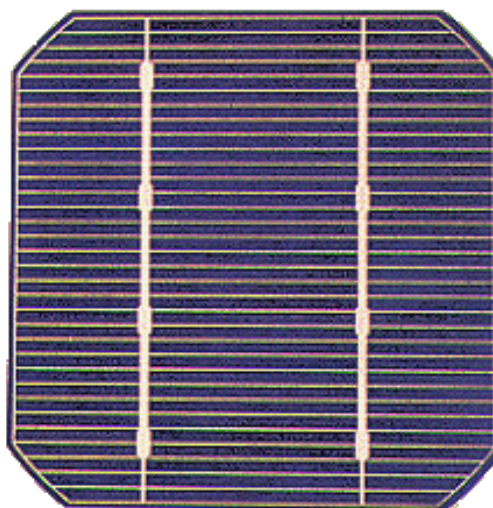
3.1 Módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é o componente unitário do gerador, este é composto por células fotovoltaicas conectadas em arranjos para produzir tensão e corrente suficientes para a utilização efetiva na prática da energia (PINHO; GALDINO, 2014). Existem diversas tecnologias aplicadas na fabricação de módulos e células fotovoltaicas. A seguir destacam-se as principais.

3.1.1 Células de silício monocristalino

Historicamente as células de silício monocristalino são as mais utilizadas e comercializadas para a conversão direta de energia solar em eletricidade, seu processo de fabricação é básico e muito bem constituído, começando com a extração do cristal de dióxido de silício. Este material, então, é desoxidado em grandes fornos, sendo posteriormente purificado e solidificado. Todo esse processo atinge um grau de pureza de até 99%. Considerando o seu baixo custo, caracteriza-se por ser razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético. (CRESESB, 2018).

Figura 10 – Célula de silício monocristalino.

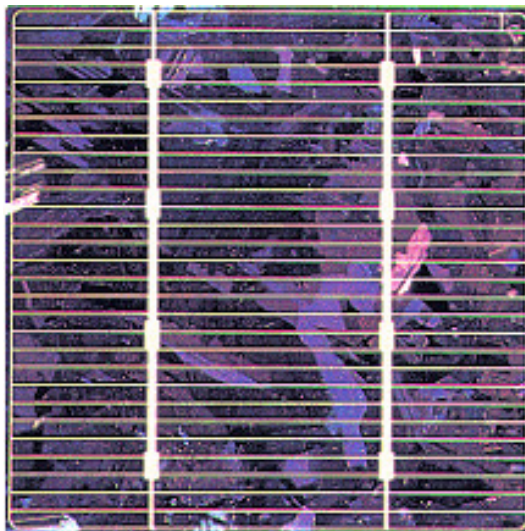


Fonte: Extraído de CRESESB (2018).

3.1.2 Células de silício policristalino

São provenientes de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Após o processo de fusão, já nos moldes especiais, o silício esfria lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam em um único cristal e sim são formadas estruturas policristalinas, com superfície de separação entre os cristais. Com relação a sua eficiência, a conversão de energia solar em eletricidade é levemente menor do que nas células de silício monocristalino. Em contrapartida, as células de silício policristalino necessitam de menos energia para a sua fabricação. (DEMONTI *et al.*, 2012).

Figura 11 – Célula de silício policristalino.

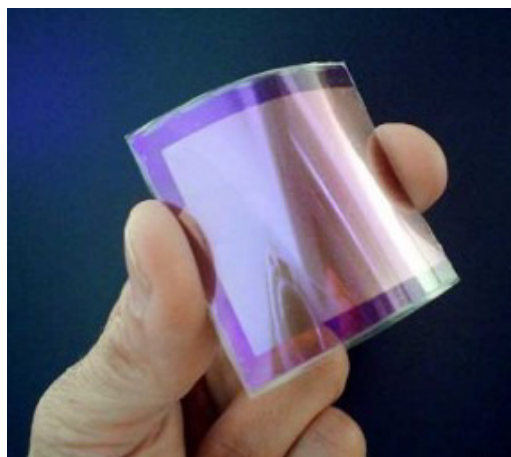


Fonte: Extraído de CRESESB (2018).

3.1.3 Células de silício amorfo

Estas células diferem das demais estruturas cristalinas por apresentarem alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. Por apresentarem uma absorção da radiação solar na faixa visível e ter um processo de fabricação através da disposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo vem se mostrando uma tecnologia eficaz para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Apesar de apresentar um baixo custo de produção, o uso desta tecnologia apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência na conversão de energia solar em elétrica quando comparada com às células mono e policristalinas de silício; a outra é que as células produzidas com este matéria apresentam uma degradação acentuada logo nos seus primeiros meses de operação, o que reduz muito a eficiência ao longo da vida útil. (CRESESB, 2018).

Figura 12 – Célula de silício amorfo.



Fonte: Extraído do site Mundo Solar (2018).

3.1.4 Características elétricas dos módulos fotovoltaicos

Geralmente, um módulo fotovoltaico é identificado pela sua potência elétrica de pico (W_p). A definição da potência de pico de um módulo fotovoltaico é feita nas condições padrão de ensaio STC (*Standart Test Conditions*), considerando irradiância solar de 1.000 W/m^2 , massa do ar de $1,5 \text{ kg/m}^3$ e temperatura das células de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (PINHO; GALDINO, 2014). A seguir é apresentado um conjunto de características próprias de cada painel solar que ajudam na escolha para sua aplicação.

3.1.4.1 Potência de pico

Potência de pico é definida como o produto da corrente do painel e da tensão nos terminais de saída. Representa a potência gerada em determinado ponto de operação onde a máxima potência pode ser alcançada. (LÓPEZ, 2014).

3.1.4.2 Tensão de potência de pico (V_{\max})

Tensão de potência de pico corresponde à tensão no ponto de máxima potência ou potência de pico (LÓPEZ, 2014).

3.1.4.3 Corrente de potência de pico (I_{max})

Corrente de potência de pico corresponde à corrente no ponto de máxima potência ou potência de pico. (LÓPEZ, 2014).

3.1.4.4 Corrente de curto-circuito (I_{sc})

Corrente de curto-circuito é a corrente medida entre os terminais de um módulo fotovoltaico, é o valor máximo de corrente de carga, ou seja, máxima corrente gerada pelo efeito fotovoltaico. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.1.4.5 Tensão de circuito aberto

Tensão de circuito aberto é definida como a tensão observada nos terminais de um módulo fotovoltaico quando este não possui nenhuma carga conectada. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.2 Associação de módulos fotovoltaicos

Com o objetivo de formar painéis fotovoltaicos com potência mais elevada, os módulos podem ser conectados em ligações série e/ou paralelo, dependendo da corrente e tensão desejada. Ao definir como os módulos serão associados, é necessário ter informações de como deverá ser a instalação e quais os componentes serão utilizados, para que estes sejam compatíveis com os resultados obtidos de corrente e tensão. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.2.1 Módulos fotovoltaicos conectados em série

Uma conexão em série é aquela em que o terminal positivo de um módulo é conectado ao negativo de outro e assim sucessivamente. Na ligação em série dos módulos, as tensões são somadas e a corrente, quando se tratam de módulos iguais, não é afetada, ou seja. (PINHO; GALDINO, 2014):

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (1)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (2)$$

Quando uma conexão em série é realizada, as correntes que fluem por cada módulo são sempre iguais entre si, contudo para que a corrente não seja afetada em relação à corrente de um módulo individual, consideram-se módulos idênticos sob as mesmas condições de radiação e temperatura. Caso haja alguma variação nas características elétricas ou um sombreamento parcial de um determinado módulo da associação, a corrente do conjunto em série será limitada pelo módulo com a menor corrente individual. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.2.2 Módulos fotovoltaicos conectados em paralelo

Uma conexão em paralelo é feita unindo-se os terminais positivos de todos os módulos entre si e procedendo-se da mesma forma com os terminais negativos. Neste tipo de associação as correntes são somadas e a tensão não é afetada. (PINHO; GALDINO, 2014).

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

3.3 Baterias

As baterias eletroquímicas são uma das mais importantes formas de armazenamento de energia que podem ser utilizadas em sistemas fotovoltaicos, elas são capazes de fazer a transformação direta de energia elétrica em energia potência química e posteriormente converter, diretamente, a energia potencial química em energia elétrica. (SEGUEL, 2009).

A função das baterias é a de armazenar a energia que é produzida durante as horas de luminosidade, que será utilizada durante a noite ou em períodos de intempere, a seguir são definidas algumas características relevantes das baterias.

3.3.1 Capacidade

A capacidade de uma bateria é normalmente definida como a quantidade de amperes-hora (Ah) que pode ser retirada quando esta se encontra com carga plena, podendo também ser expressa em termos de energia (watts-hora). A capacidade nominal é uma estimativa do fabricante do número total de amperes-hora que pode ser retirado de uma célula ou bateria nova. Normalmente os fabricantes fornecem a capacidade para cada regime de descarga. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.3.2 Ciclo

Ciclo é definido como a sequência de carga-descarga de uma bateria, até determinada profundidade de descarga. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.3.3 Descarga

Descarga é o processo de drenagem de corrente elétrica, por meio da conexão de uma carga, através da conversão de energia química em energia elétrica. Quando a descarga ultrapassa 50% da capacidade da bateria, ela é chamada de descarga profunda. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.3.4 Eficiência

A eficiência é definida como a relação entre a saída útil e a entrada, existem duas formas de ser expressa: Eficiência coulômbica ou de ampere-hora (Ah) que é a relação entre a quantidade de carga elétrica (Ah) retirada durante a descarga e a quantidade necessária para restaurar o estado inicial de carga; eficiência voltaica ou de tensão (V), sendo esta a razão entre a tensão média durante a descarga e da tensão média durante a carga necessária para restaurar a capacidade inicial. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.3.5 Profundidade de descarga

A profundidade de descarga é um indicador em termos percentuais de quanto da capacidade nominal da bateria foi retirado a partir do estado de plena carga. Exemplificando, a remoção de 30 Ah de uma bateria de capacidade nominal de 100 Ah resulta em uma profundidade de descarga de 30%. É o valor complementar do estado da carga.

Segundo alguns fabricantes, as baterias de níquel-cádmio podem ser totalmente descarregadas e recarregadas sem sofrerem alteração em seu desempenho. Já as baterias de chumbo-ácido possuem restrições maiores quanto a descargas profundas, quanto maior a profundidade de descarga, menor a quantidade de ciclos que a bateria vai apresentar em sua vida útil. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.3.6 Taxa de carga

Taxa de carga é definida como o valor de corrente elétrica aplicado a uma bateria durante o seu processo de carga. Esta taxa é normalizada em relação à capacidade nominal da bateria. Por exemplo, uma bateria com capacidade nominal de 400 Ah, com um intervalo de carga de 10 horas a corrente constante, tem sua taxa de carga expressa da seguinte forma:

$$\frac{\text{Capacidade nominal}}{\text{Intervalo de carga}} = \frac{400 \text{ Ah}}{10 \text{ h}} = 40 \text{ A} = \text{taxa } C/10 \quad (3)$$

A taxa de carga também pode ser expressa com diferentes intervalos de carga, como C/100 (100 h) ou C/20 (20 h), normalmente para o projeto de sistemas fotovoltaicos é utilizada a taxa de descarga com referência à capacidade C/20. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.3.7 Taxa de descarga

Definida como o valor de corrente elétrica durante o processo de descarga de uma bateria, esta taxa pode ser expressa em ampères, porém é mais comumente

encontrada normalizada pela capacidade nominal da bateria (PINHO; GALDINO, 2014).

3.3.8 Vida útil

A vida útil de uma bateria pode ser expressa de duas formas: por seu número de ciclos ou por seu período de tempo, dependendo do tipo de aplicação para o qual a bateria foi especificada. Considera-se, então, que a vida útil é o número de ciclos, com uma determinada profundidade de descarga, que uma bateria pode ser submetida antes de apresentar falhas e não satisfazer suas condições de operação padrão. Este número de ciclos, também chamado de vida cíclica, depende da profundidade de descarga do ciclo, da corrente de descarga e da temperatura de operação. Normalmente, em sistemas fotovoltaicos, os ciclos de carga e descarga são diários, assim o número de ciclos corresponde ao número de dias em serviço. (PINHO; GALDINO, 2014).

3.4 Controladores de carga

Os controladores de carga são responsáveis por controlar o fluxo de energia que carrega as baterias através da energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos, evitando com que estas sejam excessivamente carregadas ou descarregadas, contribuindo para o aumento da sua vida útil. As principais tecnologias utilizadas pelos controladores de cargas são PWM (*Pulse With Modulation*) ou modulação por pulsos e MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), ambas asseguram que a bateria possa ser carregada até atingir sua capacidade máxima. (LÓPEZ, 2014).

Quando a bateria atingir sua carga plena, o controlador de carga deve desconectar o gerador fotovoltaico, assim como deve interromper o fornecimento de energia quando o estado de carga da bateria atingir um nível mínimo de segurança, alguns controladores também monitoram o desempenho do sistema fotovoltaico isolado e podem acionar alarmes quando algo fora dos padrões ocorre. (PINHO; GALDINO, 2014).

Para o dimensionamento do controlador de carga deve-se levar em consideração os limites máximos do controlar com relação a tensão contínua do sistema e aos níveis de corrente elétrica, isso tanto na entrada do painel fotovoltaico

quanto na saída para as baterias. A corrente máxima do controlador I_c , deve ser considerada a corrente de curto circuito do painel fotovoltaico acrescida de um fator mínimo de segurança de 25%, assumindo que o painel pode receber uma irradiância de até 1.250 W/m^2 , mesmo que por curto períodos. (PINHO; GALDINO, 2014).

4 VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LEDS NA PRAÇA DO VIVA ANGELIM

Nesta seção será apresentada uma simulação da substituição, completa das luminárias convencionais existentes no sistema de iluminação pública da Praça do Viva, localizada no bairro Angelim em São Luís - MA, por luminárias LED, analisando sua viabilidade econômica. Essa substituição será simulada considerando a condição *retrofit*, ou seja, a substituição direta, mantendo as características da instalação existente.

4.1 Diagnóstico da situação atual

Para elaborar esta simulação foi feito o levantamento completo de todo o sistema de iluminação pública da Praça do Viva no Angelim. Esse processo foi realizado através de visitas ao local, com a participação de um auxiliar na prospecção. O conteúdo desse levantamento foi repassado à tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Descrição do sistema de iluminação da Praça do Viva no Angelim.

Tipo de lâmpada	Potência Nominal (W)	Perdas no reator (W)	Luminária	Quantidade
Vapor de Mercúrio	400	25	Suporte em Pétala	11
Vapor Metálico	400	35	Suporte em Pétala	108
Vapor Metálico	400	35	Projector	12
Vapor Metálico	1000	70	Projector	2
Total de luminárias				133

Fonte: O próprio autor (2018).

* Os valores presentes na coluna “perdas no reator”, são valores médios, de referência, com base em informações de vários fabricantes, seguindo o Manual de Instruções do Procel Reluz.

Nesse levantamento, percebe-se que há o uso predominante de lâmpadas de vapor metálico. Por se tratar de uma praça pública e necessitar de um elevado índice de reprodução de cor (IRC), a utilização deste tipo de lâmpada é aceitável, segundo o Manual de Instruções do Procel Reluz, desde que apresente-se uma justificativa circunstanciada desta opção.

Por outro lado, existem ainda 11 pontos com lâmpadas de vapor de mercúrio, que possuem baixa eficiência e vida útil quando comparadas com as lâmpadas de vapor de metálico e vapor de sódio de alta pressão. Sua substituição por lâmpadas mais eficientes e com maior vida útil é uma das recomendações do Manual de Instruções do Procel Reluz.

4.2 Descrição e detalhamento das novas luminárias LEDS a serem instaladas

Considerando a substituição direta das luminárias convencionais, buscou-se luminárias LEDs que mantenham as condições do projeto luminotécnico original, assegurando que tenham características técnicas iguais ou superiores as existentes. Dentre os fornecedores contatados, as luminárias escolhidas foram as da empresa ConexLed.

Para a substituição das luminárias convencionais com potência de 400 W, foi escolhida a luminária pública LED da linha Una ConexLed de modelo CLU-M200.

Figura 13 – Luminária Pública LED Modular CLU-M200.



Fonte: Extraído de ConexLed (2018). Datasheet CLU-200.

Tabela 3 – Dados técnicos e características da Luminária Pública LED Modular CLU-M200.

Luminária Pública LED CLU-M200	
Potência nominal	168 W
Fluxo Luminoso	21028 lm
Eficiência	125 lm/W
Vida útil	50.000 horas
Garantia	5 anos
Equivalência	400 W convencional
Preço unitário	R\$1.173,16

Fonte: ConexLed (2018). Datasheet CLU-200.

Em substituição dos projetores convencionais com potência de 400 W foi escolhido o projetor LED modular da linha Indaiá ConexLed de modelo CLF-MP200.

Figura 14 – Projetor LED modular CLF-MP200.



Fonte: Extraído de ConexLed (2018). Datasheet CLF-MP.

Tabela 4 – Dados técnicos e características Projetor LED modular CLF-MP200.

Projetor LED modular CLF-MP200	
Potência nominal	170 W
Fluxo Luminoso	26090 lm
Eficiência	131 lm/W
Vida útil	100.000 horas
Garantia	5 anos
Equivalência	400 W convencional
Preço unitário	R\$673,49

Fonte: ConexLed (2018). Datasheet CLF-MP.

Em substituição dos projetores convencionais com potência de 1000 W foi escolhido o projetor LED modular da linha Indaiá ConexLed de modelo CLF-MP300.

Figura 15 – Projetor LED modular CLF-MP300.



Fonte: Extraído de ConexLed (2018). Datasheet CLF-MP.

Tabela 5 – Dados técnicos e características Projetor LED modular CLF-MP300.

Projetor LED modular CLF-MP300	
Potência nominal	257 W
Fluxo Luminoso	38406 lm
Eficiência	127 lm/W
Vida útil	100.000 horas
Garantia	5 anos
Equivalência	400 W convencional
Preço unitário	R\$957,85

Fonte: ConexLed (2018). Datasheet CLF-MP.

4.3 Estimativa da demanda e consumo de energia elétrica com a instalação das novas luminárias LED

Este projeto prevê a substituição de 133 pontos de iluminação pelas luminárias LED descritas na seção anterior. A tabela 6 apresenta os dados de potência do sistema convencional existente.

Tabela 6 – Demanda de potência ativa do sistema atual da Praça do Viva Angelim com luminárias convencionais existentes.

Tipo de lâmpada	Quantidade	Potência Nominal (W)	Perdas no reator (W)	Potência total (kW)
Vapor de Mercúrio	11	400	25	4,675
Vapor Metálico	108	400	35	46,98
Vapor Metálico	12	400	35	5,22
Vapor Metálico	2	1000	70	2,14
Carga instalada (kW)				59,015

Fonte: O próprio autor (2018).

Com base nos dados apresentados no subitem anterior, a tabela 7 apresenta a estimativa de potência do sistema proposto com luminárias LED.

Tabela 7 – Demanda de potência ativa do sistema proposto para a Praça do Viva Angelim com luminárias LED.

Modelo da Luminária	Quantidade	Potência Nominal (W)	Potência total (kW)
CLU-M200	119	168	19,992
CLF-MP200	12	170	2,04
CLF-MP300	2	257	0,514
Carga instalada (kW)			22,546

Fonte: O próprio autor (2018).

Esses dados mostram que, em relação ao sistema com luminárias convencionais existentes, o sistema proposto com luminárias LEDs demanda 61,79% menos potência, ou seja, uma significativa redução. Seguindo esse mesmo raciocínio, é possível estimar também a redução do consumo de energia elétrica entre os sistemas, como apresentado na tabela 8.

Tabela 8 – Estimativa do consumo de energia elétrica do sistema atual e do sistema proposto para a Praça do Viva Angelim.

Tipo de Luminária	Potência Instalada (kW)	Horas/Dia (hrs)	kWh (Dia)	kWh (Mês)	MWh (Ano)
Luminárias convencionais	59,015	12	708,18	21245,4	258,4857
Luminárias LED	22,546	12	270,552	8116,56	98,75148

Fonte: O próprio autor (2018).

Na tabela 8, observa-se que a estimativa de consumo diário é baseada no funcionamento durante 12 horas, período estimado entre 6 p.m. à 6 a.m.. O consumo mensal é a multiplicação dessa estimativa por 30 e o anual por 365. Como a potência demandada pelas luminárias LEDs é menor do que as luminárias convencionais existentes, considerando os 133 pontos de iluminação, com a substituição obtém-se uma economia de consumo de energia ativa em torno de 13.128,84 kWh por mês ou 159,73 MWh por ano.

4.4 Avaliação econômica entre o sistema convencional e o sistema proposto com luminárias LED

Considerando os dados de demanda obtidos na seção anterior, pode-se estimar, em termos financeiro, o consumo mensal dos dois sistemas, levando em consideração o valor de R\$ 0,3085/kWh da tarifa da Classe de Iluminação Pública B4a. (ANEEL, 2017¹).

Os dados estimados no subitem 4.3 apontam uma redução de 13.128,84 kWh por mês no consumo de energia ativa com o sistema com luminárias LED em operação. Considerando a atual tarifa aplicada de R\$ 0,3085/kWh tem-se uma economia de R\$ 4.050,25 por mês. Do mesmo modo, anualmente, com uma redução no consumo de energia de 159,73 MWh, tem-se uma economia de R\$ 49.276,705.

¹ Resolução Homologatória Aneel N° 2.289/2017.

Em adição, pode-se calcular de forma simplificada o tempo de recuperação do capital investido para a instalação das novas Luminárias. Desconsiderando-se o custo com a mão de obra, e lembrando que a substituição é feita de forma *retrofit*, os dados da tabela 9 estimam o valor aproximado do projeto.

Tabela 9 – Valor estimado total do projeto de substituição das luminárias da Praça do Viva Angelim.

Modelo da Luminária	Quantidade	Preço unitário (R\$)
CLU-M200	119	1.173,16
CLF-MP200	12	673,49
CLF-MP300	2	957,85
Preço total (R\$)		149.603,62

Fonte: O próprio autor (2018).

Assim, o *payback* simples, ou tempo de recuperação do capital investido pode ser encontrado da seguinte maneira. (BRUNI; FAMÁ; SIQUEIRA, 1998):

$$Payback = \frac{Investimento\ total}{Economia\ anual} \quad (4)$$

$$Payback = \frac{Investimento}{Economia\ anual} = \frac{R\$149.603,62}{R\$49.276,705} = 3\ anos$$

Por fim, nota-se que o novo sistema proposto, utilizando luminárias LEDs, passa a ter um retorno financeiro após 3 anos, ou seja, dentro do tempo de garantia das luminárias escolhidas que é de 5 anos, e também dentro da vida útil do sistema, que é de 11 anos e 5 meses ou 50.000 horas. Esse resultado já mostra que a substituição é bastante viável na atual conjuntura, lembrando que nenhum método específico de análise econômica, nem reajustes de tarifa de iluminação pública, desvalorização de moeda e condições de mercado estão sendo levados em consideração.

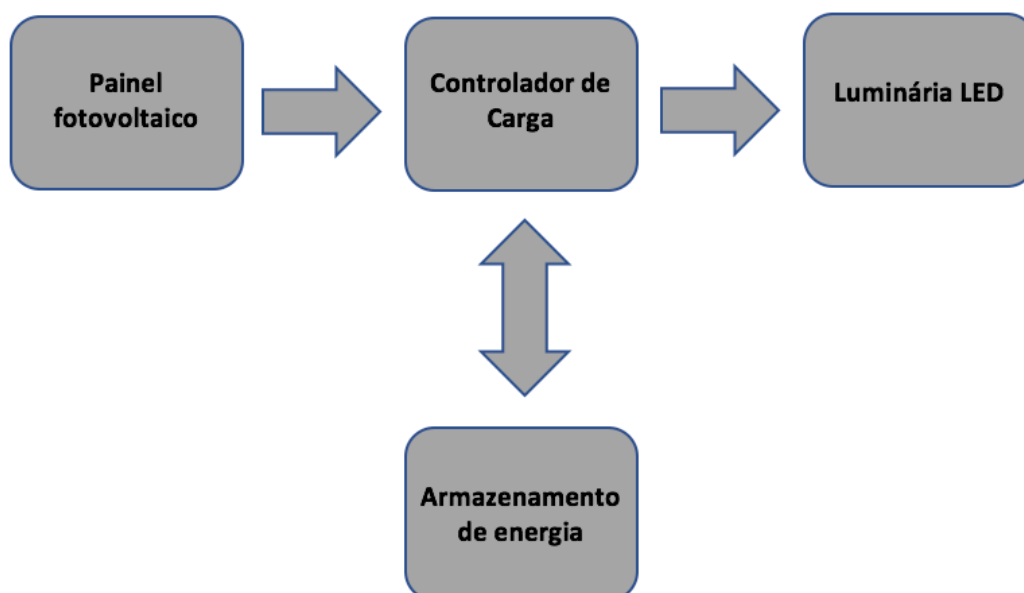
5 VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS NOS POSTES DA PRAÇA DO VIVA NO ANGELIM

Neste capítulo será apresentado uma simulação para a utilização de sistemas fotovoltaicos autônomos em cada poste da Praça do Viva no Angelim, considerando a viabilidade econômica do projeto.

5.1 Descrição do projeto

O projeto consiste na implantação de sistemas fotovoltaicos autônomos em cada poste, fornecendo a energia elétrica demandada pelas luminárias. Dentre os equipamentos necessários para a composição do projeto, destacam-se luminárias LEDs, painel fotovoltaico, bateria e controlador de carga, como mostra o diagrama de blocos na figura 16.

Figura 16 – Diagrama de blocos dos principais equipamentos de um sistema fotovoltaico autônomo.



Fonte: O próprio autor (2018).

A figura 17 ilustra um exemplo prático de um poste solar fornecido pela empresa Cidade Solar.

Figura 17 – Poste Solar Autônomo da empresa Cidade Solar.



Fonte: Extraído de Cidade Solar (2018).

Os postes existentes na Praça do Viva serão preservados, adicionando somente os componentes do sistema fotovoltaico, e fazendo a substituição das luminárias convencionais por luminárias LEDs alimentadas por tensão contínua.

5.2 Diagnóstico da situação atual

Para simular a aplicação do projeto, utilizou-se o mesmo levantamento descrito no capítulo 5, os dados obtidos foram repassados para a tabela 10, estes apresentam a quantidade de postes do sistema atual, quantidade de luminárias e potência nominal total instalada em cada poste.

Tabela 10 – Detalhamento dos postes do atual sistema de iluminação da Praça do Viva Angelim.

Luminárias	Potência da Luminária (W)	Projetores	Potência do Projetor (W)	Potencia total (W)	Quantidade de Postes
1	400	-	-	400	1
2	400	-	-	800	7
-	-	3	400	1200	4
4	400	-	-	1600	24
4	400	1	1000	2600	2
Total de postes					38

Fonte: O próprio autor (2018).

5.3 Descrição e detalhamento dos materiais

Com base nos dados apresentados na seção anterior, podemos selecionar os equipamentos que compõe cada sistema autônomo dos postes de iluminação da Praça do Viva.

5.3.1 Luminárias LED

Para a determinação da escolha das luminárias LEDs aplicadas nessa simulação, buscou-se as que mantenham o projeto luminotécnico original, assegurando que tenham características técnicas iguais ou superiores as existentes. Além disso, estas também precisam ser fornecidas com a opção de operação em corrente contínua, para serem utilizadas no sistema fotovoltaico sem a presença de inversor. Dentre os fornecedores contatados, as luminárias escolhidas foram as fornecidas pela empresa Naville Iluminação.

Para a substituição das luminárias convencionais com potência de 400 W foi escolhida a luminária modular LED modelo EXL1006/200.

Figura 18 – Luminária Modular LED EXL1006/200.



Fonte: Extraído de NAVILLE ILUMINAÇÃO (2018). Catálogo técnico EXL1006.

Tabela 11 – Dados técnicos e características da Luminária Modular LED EXL1006/200.

Luminária Modular LED EXL1006/200	
Potência nominal	200 W
Fluxo Luminoso	20.159 lm
Eficiência	103 lm/W
Vida útil	50.000 horas
Garantia	5 anos
Equivalência	400 W convencional
Preço unitário	R\$1.366,04

Fonte: NAVILLE ILUMINAÇÃO (2018). Catálogo técnico EXL1006.

Em substituição dos projetores convencionais com potência de 400 W foi escolhido o projetor LED modular de modelo EZL1006/175.

Figura 19 – Projetor LED modular EZL1006/175.



Fonte: Extraído de NAVILLE ILUMINAÇÃO (2018). Catálogo técnico EZL1006.

Tabela 12 – Dados técnicos e características Projetor LED modular EZL1006/175.

Projetor LED modular EZL1006/175	
Potência nominal	175 W
Fluxo Luminoso	18.796 lm
Eficiência	107 lm/W
Vida útil	100.000 horas
Garantia	5 anos
Equivalência	400/500 W convencional
Preço unitário	R\$1.496,37

Fonte: NAVILLE ILUMINAÇÃO (2018). Catálogo técnico EZL1006.

Em substituição dos projetores convencionais com potência de 1000 W foi escolhido o projetor LED modular de modelo EZL1006/305.

Figura 20 – Projetor LED modular EZL1006/305.



Fonte: Extraído de NAVILLE ILUMINAÇÃO (2018). Catálogo técnico EZL1006.

Tabela 13 – Dados técnicos e características Projetor LED modular EZL1006/305.

Projetor LED modular EZL1006/305	
Potência nominal	305 W
Fluxo Luminoso	32.893 lm
Eficiência	107 lm/W
Vida útil	100.000 horas
Garantia	5 anos
Equivalência	1000 W convencional
Preço unitário	R\$2.255,22

Fonte: NAVILLE LUMINAÇÃO (2018). Catálogo técnico EZL1006.

Com base nos dados das luminárias que serão utilizadas no projeto, pode-se estimar a nova potência instalada que servirá como base para o dimensionamento do sistema fotovoltaico autônomo de cada poste.

Tabela 14 - Potência instalada em cada poste com Luminárias LED na praça do Viva Angelim.

Luminárias	Potência da Luminária LED (W)	Projetores	Potência do Projetor LED (W)	Potência total (W)	Quantidade de Postes
1	200	-	-	200	1
2	200	-	-	400	7
-	-	3	175	525	4
4	200	-	-	800	24
4	200	1	305	1105	2
Total de postes					38

Fonte: O próprio autor (2018).

5.3.2 Dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos isolados

Com os dados apresentados na seção 5.3, pode-se dimensionar os painéis fotovoltaicos que serão necessários para suprir a demanda de energia elétrica de cada poste. Considerando a energia demandada, existem 5 tipos diferentes de postes, logo será feito o dimensionamento separado para cada um desses tipos.

Para dimensionar corretamente um sistema fotovoltaico, é necessário obter a irradiação solar do local onde o mesmo será instalado (SCHUCH et al., 2011). Neste trabalho considerou-se a irradiação solar em São Luís – MA. Os dados de irradiação solar foram obtidos por meio do programa SUNDATA.

Tabela 15 – Valores de irradiação solar média mensal em São Luís.

Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]															
Ângulo	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	4,96	4,99	4,79	4,65	4,69	4,84	5,08	5,66	6	5,74	5,64	5,48	5,21	1,35
Ângulo igual a latitude	3° N	4,87	4,93	4,78	4,69	4,77	4,96	5,19	5,74	6,02	5,69	5,53	5,36	5,21	1,33
Maior média anual	2° N	4,9	4,95	4,78	4,68	4,75	4,92	5,15	5,71	6,01	5,71	5,57	5,4	5,21	1,34
Maior mínimo mensal	7° N	4,73	4,85	4,75	4,73	4,87	5,1	5,33	5,83	6,02	5,61	5,38	5,18	5,2	1,29

Fonte: SUNDATA (2018).

Da tabela 15, obteve-se o nível de irradiação solar de 4,65 kWh/m² para o mês de abril, sendo este o de menor valor no ano, e o que será considerado neste projeto. Como a potência instalada não é igual para todos os postes, o dimensionamento dos painéis não será igual para todos os postes.

5.3.2.1 Poste com potência instalada de 200 W

De acordo com a tabela 14 existe 1 poste com potência instalada total de 200 W, então a demanda de energia diária deste poste é de 2.400 Wh/dia, assim pode-se determinar em watt-pico a capacidade do painel a ser utilizado, por meio da equação abaixo. (SCHUCH et al., 2011).

$$E_p = P_{pv} \times SP \quad (5)$$

Onde:

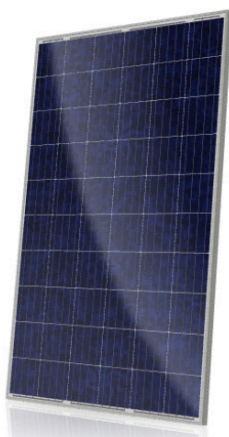
E_p = Energia demandada pelo poste (Wh/dia).

P_{pv} = Potência de pico do painel fotovoltaico a ser utilizado (W).

SP = Horas de sol pleno no local de instalação do painel (Horas/dia).

Da equação 5.1 encontra-se o valor de 516,13 Wp, assim para o poste com carga instalada de 200 W foi escolhido dois painéis solar fabricado pela empresa CANADIAN SOLAR modelo CS6K-270P de 270 Wp.

Figura 21 – Painel solar 270 Wp Policristalino Canadian Solar CS6K-270P.



Fonte: Extraído de CanadianSolar (2018). Datasheet CS6K-P.

Tabela 16 – Especificações do painel fotovoltaico CS6K-270P.

Potência máxima	270 Wp
Voltagem de máxima potência	30,8 Volts
Corrente de máxima potência	8,75 Ampères
Corrente de curto circuito (I_{sc})	9,32 Ampères
Dimensões	1650 x 992 x 40 (mm)
Peso	18,2 kg
Garantia fabricante	10 anos
Vida útil	25 anos
Preço unitário	R\$589,00

Fonte: CanadianSolar (2018). Datasheet CS6K-P.

Como a simulação prevê um sistema isolado para cada poste, o sistema de armazenamento de energia deve apresentar uma alta eficiência energética, confiabilidade e necessidade de manutenção baixa. A capacidade de carga do banco de baterias foi definida por:

$$C_{Ah} = \frac{E_p}{V_{bat} \times ProfundidadeDeDescarga} \quad (6)$$

Onde:

C_{Ah} = Capacidade da bateria (Ah).

E_p = Energia demandada pelo poste (Wh/dia).

V_{bat} = Voltagem de operação do banco de baterias (Volts).

Profundidade de descarga, geralmente 0,2 para uma vida útil estimada de 4 anos. (MOURA, 2018).

Da equação 5.2 encontra-se o valor de 500 Ah, assim para o poste com carga instalada de 200 W foi escolhido quatro baterias fabricadas pela empresa Moura modelo 12MF220, arranjadas em série/paralelo, operando em 24 V_{CC} e com uma capacidade total de 440 Ah.

Figura 22 – Bateria estacionária Moura Clean 12MF220.



Fonte: Extraído de Moura (2018). Catálogo Técnico baterias Moura.

Tabela 17 – Especificações da bateria estacionária Moura Clean 12MF220.

Tipo	Estacionária Chumbo-ácida
Voltagem nominal da bateria	12 Volts
Capacidade C20	220 Ah
Capacidade C100	242 Ah
Ciclos (com 20% de descarga)	1800 ciclos
Garantia do fabricante	2 anos
Preço unitário	R\$1.159,00

Fonte: Moura (2018). Catálogo Técnico baterias Moura.

Para dimensionar o último componente do sistema, o controlador de carga, deve-se considerar a corrente de curto circuito I_{SC} do painel fotovoltaico acrescido de um fator mínimo de segurança de 25% (PINHO; GALDINO, 2014). Desta maneira, multiplicando $I_{SC} = 9,32$ A do painel CS6K-270P por um fator de segurança de 25%, temos $I_{SC25\%} = 11,65$ A. Portanto, o controlador de carga MPPT escolhido é o da empresa Epever modelo TRIRON 2210N que suporta até 20 A em 12/24 V_{CC}.

Figura 23 – Controlador de carga Epever TRIRON 2210N.



Fonte: Extraído de Epever (2018).

Tabela 18 – Especificações do controlador de carga Epever TRIRON 2210N.

Tensão de operação	12/24 VCC
Corrente nominal	20 A
Garantia do fabricante	1 ano
Preço unitário	R\$469,00

Fonte: Epever (2018).

5.3.2.2 Postes com potência instalada de 400 W

De acordo com a tabela 14 existem 7 postes com potência instalada total de 400 W, então a demanda de energia diária de cada um destes postes é de 4.800 Wh/dia. Utilizando a equação 5.1 encontra-se o valor de 1032,25 Wp, assim para cada poste com carga instalada de 400 W foram escolhidos quatro painéis solar fabricado pela empresa CANADIAN SOLAR modelo CS6K-270P de 270 Wp, mesmo modelo escolhido para o poste com potência instalada de 200 W.

Da equação 5.2 encontra-se o valor de 1000 Ah, assim foram escolhidas oito baterias fabricadas pela Moura modelo 12MF220, arranjadas em série/paralelo, operando em 24 V_{CC} e com uma capacidade total de 880 Ah.

Como o painel escolhido foi o mesmo utilizado no poste de 200 W, o controlador de carga MPPT escolhido também é o mesmo, da empresa Epever modelo TRIRON 2210N que suporta até 20 A em 12/24 V_{CC}.

5.3.2.3 Postes com potência instalada de 525 W

De acordo com a tabela 14, existem 4 postes com potência instalada total de 525 W, então, a demanda de energia diária de cada um destes postes é de 6.300 Wh/dia. Utilizando a equação 5.1 encontra-se o valor de 1.354,83 Wp, assim para cada poste com carga instalada de 525 W foram escolhidos cinco painéis solar fabricados pela empresa CANADIAN SOLAR modelo CS6K-270P de 270 Wp, mesmo modelo escolhido para o poste com potência instalada de 200 W.

Da equação 5.2 encontra-se o valor de 1.312,5 Ah, assim foram escolhidas doze baterias fabricadas pela Moura modelo 12MF220, arranjadas em série/paralelo, operando em 24 V_{CC} e com uma capacidade total de 1.320 Ah.

Como o painel escolhido foi o mesmo utilizado no poste de 200 W, o controlador de carga MPPT escolhido também é o mesmo, da empresa Epever modelo TRIRON 2210N que suporta até 20 A em 12/24 V_{CC}.

5.3.2.4 Postes com potência instalada de 800 W

De acordo com a tabela 14, existem 24 postes com potência instalada total de 800 W, então a demanda de energia diária de cada um destes postes é de 9.600 Wh/dia. Utilizando a equação 5.1 encontra-se o valor de 2064,51 Wp, assim para o poste com carga instalada de 800W foram escolhidos oito painéis solar fabricados pela empresa CANADIAN SOLAR modelo CS6K-270P de 270 Wp, mesmo modelo escolhido para os postes anteriores.

Da equação 5.2 encontra-se o valor de 2000 Ah, assim foram escolhidas 20 baterias fabricadas pela Moura modelo 12MF220, arranjadas em série/paralelo, operando em 24 V_{CC} e com uma capacidade total de 2200 Ah.

Como os painéis escolhidos foram os mesmos utilizados nos postes anteriores, o controlador de carga MPPT escolhido também é o mesmo, da empresa Epever modelo TRIRON 2210N que suporta até 20 A em 12/24 V_{CC}.

5.3.2.5 Postes com potência instalada de 1105 W

De acordo com a tabela 14, existem 2 postes com potência instalada total de 1105 W, então a demanda de energia diária de cada um destes postes é de 13.260

Wh/dia. Utilizando a equação 5.1 encontra-se o valor de 2851,61 Wp, assim para o poste com carga instalada de 1105 W foram escolhidos onze painéis solar fabricados pela empresa CANADIAN SOLAR modelo CS6K-270P de 270 Wp, mesmo modelo escolhido para os postes anteriores.

Da equação 5.2 encontra-se o valor de 2762 Ah, assim foram escolhidas 24 baterias fabricadas pela Moura modelo 12MF220, arranjadas em série/paralelo, operando em 24 V_{CC} e com uma capacidade total de 2640 Ah.

Como os painéis escolhidos foram os mesmos utilizados nos postes anteriores, o controlador de carga MPPT escolhido também é o mesmo, da empresa Epever modelo TRIRON 2210N que suporta até 20 A em 12/24 V_{CC}.

A tabela 19 mostra o resumo dos equipamentos requeridos para o sistema proposto.

Tabela 19 – Quantidade total dos equipamentos requeridos para os sistemas fotovoltaicos isolados de cada poste da iluminação pública da Praça do Viva Angelim.

Potência Instalada (W)	Quantidade de postes	Quantidade de painéis	Quantidade de baterias	Controladores de carga
200	1	2	4	1
400	7	4	8	1
525	4	5	12	1
800	24	8	20	1
1105	2	11	24	1

Fonte: O próprio autor (2018).

5.4 Viabilidade do sistema proposto

Para o cálculo do valor total do sistema proposto foi considerado um período de 20 anos, uma vez que a vida útil dos painéis fotovoltaicos é de 25 anos e estes vão perdendo desempenho ao longo do tempo. Dos demais componentes do sistema proposto, as baterias precisam ser trocadas a cada 4 anos, os controladores de carga a cada 10 anos, as luminárias LEDs também a cada 10 anos e os projetores a cada 22 anos. Assim, o valor do sistema, já considerando as trocas, é estimado na tabela 20 a seguir.

Tabela 20 – Valor total do sistema proposto considerando um período 20 anos.

Componente	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Painel fotovoltaico	264	R\$589,00	R\$155.496,00
Bateria	3180	R\$1.159,00	R\$3.685.620,00
Controlador de Carga	76	R\$469,00	R\$35.644,00
Luminárias EXL1006/200	238	R\$1.366,04	R\$325.117,52
Projetores EZL1006/175	12	R\$1.496,37	R\$17.956,44
Projetores EZL1006/305	2	R\$2.255,22	R\$4.510,44
Preço total do sistema proposto			R\$4.224.344,40

Fonte: O próprio autor (2018).

Do capítulo 4, temos que o consumo anual de energia do atual sistema com luminárias convencionais é de 258,4857 MW, considerando o valor de R\$ 0,3085/kWh da tarifa da Classe de Iluminação Pública, o gasto total anual com energia é de R\$ 79.742,8384.

Assim, o gasto total no período de 20 anos com a iluminação convencional conectada à rede elétrica será de R\$1.594.856,77, o que não seria suficiente nem para quitar os valores das baterias que precisam ser substituídas aproximadamente a cada quatro anos, assim ficando inviável equiparar o valor investido com o sistema proposto.

6 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Primeiramente, neste trabalho foi analisado a substituição das luminárias convencionais existentes na iluminação pública da praça do Viva Angelim por luminárias que utilizam a tecnologia LED. A substituição foi considerada de forma direta e os custos de mão de obra para tal foram desconsiderados. Levou-se em conta somente o valor de aquisição dos novos equipamentos.

Os resultados apresentados no capítulo 4, mostram que a troca das luminárias convencionais de vapor de mercúrio e vapor metálico por luminárias LEDs já é consideravelmente vantajosa, levando em consideração apenas a economia obtida com a redução do consumo de energia. O cálculo do *payback* simples mostrou que o tempo de retorno do investimento seria de três anos, dentro do período de garantia dos 5 anos estipulados pelo fornecedor escolhido e dentro da vida útil do sistema de mais ou menos 11 anos ou 50 mil horas.

Ampliando o horizonte, podemos considerar também a melhoria na qualidade da iluminação. As luminárias com tecnologia LEDs possuem IRC maior do que as luminárias convencionais utilizadas na praça do Viva Angelim, assim estes têm capacidade de reproduzir melhor as cores vistas. Parafraseando o diretor técnico da Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX), Isac Roizenblatt, a adequada iluminação de uma cidade, orienta melhor os pedestres, motoristas e ciclistas, além de ser um fator contribuinte para melhoria da segurança.

Do ponto de vista sustentável, as luminárias LEDs são consideradas, para efeito de descarte e reciclagem, resíduos comuns, uma vez que não possuem em sua constituição, materiais nocivos ao meio ambiente. Diferente das luminárias existentes com lâmpadas de descarga, que têm em sua constituição a presença de gases e vapores que são contaminantes e de reciclagem mais difícil. Além disso, a tecnologia LED possui vida útil de 3 a 4 vezes mais, necessitando assim de menos trocas, menos gastos com manutenção e conseqüentemente com reciclagem.

Posteriormente, no capítulo 5 foi apresentando uma alternativa para a utilização de sistemas fotovoltaicos autônomos em cada poste de iluminação da praça do Viva Angelim. Foi considerado um período de 20 anos, baseado na vida útil dos painéis fotovoltaicos e, a partir de então, foi estimado o valor total do projeto levando em consideração apenas os componentes principais do sistema, desconsiderando custos com mão de obras e com equipamentos como cabos e ferragens.

Economicamente, a situação proposta mostrou-se inviável, a economia de energia estimada não é suficiente, por exemplo, nem para quitar os gastos com as baterias, equipamentos mais caros e que necessitam de mais trocas por terem vida útil menor.

Tecnicamente, o projeto também se mostrou inviável pela forma com que se configura o atual projeto luminotécnico da praça. Uma vez que os pontos luminosos se encontram concentrados em poucos postes. Por exemplo, existem dois postes com potência instalada de 1105 W, os quais contem 4 luminárias e 1 refletor. O refletor foi colocado de forma inadequada sobre as quatro luminárias como uma solicitação da população para a deficiência luminosa nos pontos centrais da praça. Como dimensionado, para este poste, seria necessária a utilização de 11 painéis fotovoltaicos, com um sistema de armazenamento composto por 24 baterias estacionárias, o que inviabiliza o arranjo destes equipamentos da forma como foi mostrado no exemplo do poste solar da figura 17.

Considerando que o projeto prevê o não consumo de energia proveniente da rede elétrica, talvez se mostre viável em localidades distantes e de difícil acesso. Também pode-se considerar sua utilização em estradas, como no exemplo do sistema de iluminação do arco metropolitano no Rio de Janeiro, que utiliza-se do mesmo sistema proposto, sendo a rodovia iluminada em sua totalidade por postes semelhantes ao proposto no capítulo 5. Porém, a real situação esbarra em problemas que vão além da engenharia econômica e técnica, o superfaturamento da obra ficou claro, sendo que a operação Lava Jato investiga inúmeras fraudes nas licitações. Atualmente, a rodovia encontra-se abandonada devido a insegurança. Segundo o jornalista Marcio Dolzan (2018) em reportagem ao Estadão, mais de 200 postes foram derrubados e tiveram seus painéis fotovoltaicos e baterias roubadas.

Em conclusão, a utilização de geração fotovoltaica autônomo ainda tem um custo bastante elevado como foi mostrado no capítulo 5. Levando em consideração os aspectos técnicos sua aplicação se mostrou inviável na praça do Viva Angelim devido ao atual projeto de iluminação. A descentralização e melhor alocação dos pontos de iluminação reverteria essa situação.

6.1 Trabalhos futuros

Para dar continuidade a este trabalho, poderia ser feito um novo projeto de iluminação da praça do Viva Angelim, buscando alocar melhor os pontos de iluminação e avaliar, então, a viabilidade técnica da utilização de sistemas fotovoltaicos isolados. Outra proposta, seria analisar a viabilidade técnica e econômica de utilizar um sistema de geração híbrida.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5101: Iluminação Pública**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a. 35p.

_____. **NBR 15129: Luminárias para iluminação pública – Requisitos particulares**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012b. 16p.

AMA – American Medical Association (Org.). **Adopts Guidance to Reduce Harm from High Intensity Street Lights**. 2016. Disponível em: <<https://www.ama-assn.org/ama-adopts-guidance-reduce-harm-high-intensity-street-lights>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Homologatória nº 2.289 de 22 de agosto de 2017**. Resultado da quarta Revisão Tarifária Periódica – RTP da Companhia Energética do Maranhão. 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2017/027/resultado/reh20172289ti.pdf>>. Acesso em: 05 de junho 2018.

BRAGA, H. A. C.; RAGONE, J. C.; ABREU, S. R.; RODRIGES, M. C. B.; RIBEIRO, M. V.; PINTO, D. P. “Uma Proposta de Redução de Custos no Gerenciamento e na Manutenção de Redes de Iluminação Pública”. In: IV Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica – CITENEL, Araxá, novembro de 2007. **Anais...** Araxá, 2007.

BRUNI, A L.; FAMÁ, R.; SIQUEIRA, J O. Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação do método de Monte Carlo. **Caderno de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 6, p. 62-75, 1998.

CANADIAN SOLAR. **CS6K- 260|265|270|275 P**. Datasheet CS6K-P. Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com/>>. Acesso em: 03 junho 2018.

CIDADE SOLAR. **Poste Solar Autônomo - 1 Luminária Pública - Fixação Engastado**. Disponível em: <<http://www.lojacidadesolar.com.br/postes-solares/poste-solar-autonomo-1-luminaria-publica-fixacao-engastado>>. Acesso em: 04 junho 2018.

CONEXLED. **Luminária Pública LED Modular Linha Una – CLU**. Datasheet CLU-200. Disponível em: <www.conexled.com.br>. Acesso em: 03 junho 2018.

_____. **Projeto LED Modular Nova Linha Indaiá CLF-MP**. Datasheet CLF-MP Disponível em: <<http://conexled.com.br>>. Acesso em: 03 junho 2018.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. **Manual de iluminação pública**. Curitiba: COPEL Distribuição, 2012.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. 2018.. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em: 05 de Junho de 2018.

DEMONTI, Rogers et al. Geração de energia fotovoltaica – Pesquisa e desenvolvimento de geração isolada e conexão com o sistema de distribuição. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 71-89, dez. 2012.

DOLZAN, Marcio. **Painéis solares são novo alvo de criminosos no Arco Metropolitano**. Estadão. 2018. Disponível em: <<https://brasil.estadao.com.br/noticias/rio-de-janeiro,paineis-solares-sao-novo-alvo-de-criminosos-no-arco-metropolitano,70002146030>>. Acesso em: 22 Maio. 2018.

EPE – Empresa Pesquisa Energética. **Nota técnica dea 13/14: Demanda de energia 2050**. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

EPEVER. **TRIRON SERIES: Modular MPPT charge controller**. Disponível em: <<http://www.epever.com>>. Acesso em: 03 junho 2018.

LIU, Lei et al. Thermal analysis and comparison of heat dissipation methods on high-power LEDs. In: **Electronic Packaging Technology & High Density Packaging (ICEPT-HDP), 2010 11th International Conference on**. IEEE, 2010. p. 1366-1370.

LOPES, S. B. **Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação Pública**.. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

LÓPEZ, Julián Alberto Ramírez. **Sistemas autônomos de Iluminação Pública em Corrente Contínua**. 2014. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2014.

MOURA. **Clean: a bateria para todas as estações**. Catálogo Técnico. Disponível em: <<http://www.moura.com.br>>. Acesso em 04 junho 2018.

MUNDO SOLAR (Ed.). **Fabricación De Células Solares**. Disponível em: <<http://www.dforcesolar.com/energia-solar/category/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 03 jun. 2018.

NAVILLE ILUMINAÇÃO **Luminária Modular LED - Iluminação Pública LED**. Catálogo técnico EXL1006. Disponível em: <<http://naville.com.br/pt/home/>>. Acesso em: 05 junho 2018.

_____. **Projeto LED - Iluminação Modular LED**. Catálogo técnico EZL1006. Disponível em: <<http://naville.com.br/pt/home/>>. Acesso em: 05 junho 2018.

NOGUEIRA, F. J. **Avaliação experimental de luminárias empregando LEDs orientadas à iluminação pública**. 2013. 193f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2013.

OLYMPIA (Brasil) (Ed.). **Tecnologia em quadras poliesportivas**. 2018. Disponível em: <<http://www.olympiaquadras.com.br>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (Org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014. 530p.

PROCEL, E. **Manual de Instruções Procel Reluz**. Rio de Janeiro, Setembro 2005.

RODRIGUES, C. R. B. S. **Contribuições ao Uso de Diodos Emissores de Luz em Iluminação Pública**. 2012. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

RODRIGUES, C. R. B. S.; ALMEIDA, P. S.; JORGE, J. M.; SOARES, G. M.; PINTO, D.P.; BRAGA, H. A. C. Experimental Characterization Regarding Two Types Of Phosphor-converted White High-brightness LEDs: Low Power And High Power Devices. In: **Power Electronics Conference (COBEP)**, 2011 Brazilian. IEEE, p. 734-740, 2011.

SALES, R. P. **LED, o Novo Paradigma da Iluminação Pública**. 2011. 132f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto de Engenharia do Paraná, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, 2011.

SCHUCH, Luciano et al. Sistema Autônomo de Iluminação Pública de Alta Eficiência Baseado em Energia Solar e LEDs. **Eletrôn Potên. Campinas**, v. 16, n. 1, p. 17-27, 2011.

SEGUEL, J. I. L. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. 2009. 222f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SILVA, Lourenço L. F. de. **Iluminação pública no Brasil: aspectos energéticos e institucionais**. 2006. 172 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

TOTAL LIGHT. **Sistemas de iluminação pública**. 2018. Disponível em: <<http://totallight.com.br/produtos/suportes-para-fixacao-de-4-petalas-cod-tlex-9530/>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

WUNSCH, Alexander. **How LED Lighting May Compromise Your Health**. 2016. Disponível em: <https://articles.mercola.com/sites/articles/archive/2016/10/23/near-infrared-led-lighting.aspx?utm_source=facebook.com&utm_medium=referral&utm_content=facebookmercola_lead&utm_campaign=20161023_near-infrared-led-lighting>. Acesso em: 20 jun. 2018.