

Eficiência Energética em Iluminação Pública na UFERSA

1º Sanderson Aron Moura Gurgel Sinedino de Oliveira
Departamento de Engenharia e Tecnologia
UFERSA
Mossoró, Brasil
sandersonaron@gmail.com

2º Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra
Departamento de Engenharia e Tecnologia
UFERSA
Mossoró, Brasil
fkv@ufersa.edu.br

Resumo — *De toda a energia elétrica produzida no Brasil, cerca de 4% é destinada à iluminação pública, o que a torna uma área bastante importante no setor elétrico nacional, sendo alvo de estudos de eficiência energética. Esse artigo apresenta a elaboração de um projeto de eficiência energética realizado com o objetivo de avaliar a atual condição e propor a substituição do sistema de iluminação pública da Universidade Federal Rural do Semi-Árido. A metodologia utilizada inicialmente foi baseada no levantamento de dados da situação da iluminação pública da Universidade como quantidade de pontos de iluminação, tipos de lâmpadas, potência e características luminosas para se fazer simulações computacionais utilizando Dialux. Com isso, foi possível avaliar o sistema de iluminação pública e escolher, a partir de novas tecnologias, o uso de luminárias com lâmpadas tipo LED (Light Emitting Diode), avaliando aspectos como consumo de energia e viabilidade econômica. Como resultado, foi verificado que, além da diminuição do consumo de energia elétrica, pelo fato de o sistema em LED demandar menos potência, também é possível concluir que há um alívio do sistema em horário de ponta, diminuindo os custos dessa componente.*

Palavras-chave — *Iluminação Pública, Eficiência Energética, Nível de Iluminância, LED, Viabilidade Econômica.*

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, com a possibilidade da escassez dos recursos naturais, procura-se garantir o desenvolvimento social e tecnológico de forma eficiente e sustentável utilizando energia elétrica. Como exemplo, os sistemas de iluminação artificial representam um grande potencial de economia de energia. Cerca de 30% de toda a energia elétrica gerada no mundo atualmente é utilizada para a produção de iluminação artificial [1]. Com isso, surge a preocupação de se procurar alternativas para a redução do consumo de energia elétrica em sistemas de iluminação, já que podem impactar significativamente índices econômicos e ambientais.

De acordo com [2], foram consumidos cerca de 526 GWh de energia elétrica no Brasil no ano de 2017. Destes, cerca de 4% é atribuído à iluminação pública (IP) [3], ou seja, em 2017 foram consumidos cerca de 21 GWh proveniente da iluminação pública. Esse cenário tende a crescer com a expansão das cidades, ruas, vias e estradas.

Com isso, a iluminação pública, por mostrar ser uma área bastante importante no setor elétrico nacional, e atualmente é alvo de estudos de eficiência energética, necessitando avaliar o potencial desse segmento.

Logo, este artigo tem como objetivo analisar a viabilidade econômica e a eficiência energética da substituição da iluminação pública no âmbito do Campus Leste da UFERSA, que atualmente utiliza lâmpadas de

Vapor de Sódio a Alta Pressão (VSAP) e Vapor Metálico (VM), por lâmpadas do tipo LED. Para realizar o objetivo principal serão realizadas algumas etapas, a saber, medição dos níveis de iluminação e uniformidade existentes nas vias principais do Campus Leste da UFERSA; definição dos níveis de luminosidade; escolha de luminárias LED; as simulações computacionais utilizando o Dialux; a verificação de eficiência energética; e a análise da viabilidade econômica (*payback*).

II. ILUMINAÇÃO PÚBLICA

De acordo com [4], iluminação pública é o serviço público que tem por objetivo prover de claridade os logradouros, de forma periódica, contínua ou eventual. Já a NBR 5101:2012 especifica que o objetivo da iluminação pública é proporcionar visibilidade para a segurança do tráfego de veículos e pedestres, de forma rápida, precisa e confortável. Com isso, os projetos de IP devem atender aos requisitos específicos do usuário, provendo benefícios econômicos e sociais para os cidadãos, incluindo: redução de acidentes noturnos, melhoria das condições de vida, auxílio à proteção policial, facilidade do fluxo do tráfego, destaque a edifícios e obras públicas durante à noite, e eficiência energética [5].

Operando aproximadamente 12 horas por dia, a iluminação pública é de suma importância para o ser humano em relação a qualidade de vida, provendo boa visibilidade nas ruas, vias e estradas, viabilizando atividades culturais no período da noite, inibindo ações criminosas, reduzindo possíveis acidentes de trânsito e facilitando outras atividades que necessitem de uma boa iluminação.

A. Iluminação Pública no Brasil

O último levantamento dos pontos de iluminação pública no Brasil foi realizado em 2008 e publicado em 2009 pela Eletrobras e PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). Com um trabalho feito juntamente com as concessionárias de energia elétrica, constatou-se que haviam mais de 15 milhões de pontos de iluminação pública no país. Os dados mais recentes são de [10], que estima que o setor de IP no Brasil possua mais de 18 milhões de pontos de iluminação, com atendimento prestado a cerca de 95,5% dos domicílios. O parque luminotécnico instalado é composto predominantemente de lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão e por lâmpadas a vapor de mercúrio. A penetração da tecnologia LED ainda é consideravelmente baixa, embora diversas cidades tenham projetos piloto em andamento para implementar a tecnologia [10].

Hoje, no Brasil, a iluminação pública abrange populacionalmente falando, mais que o saneamento básico e a pavimentação asfáltica. Porém, ainda existe cerca de 2,1 milhões de domicílios que não são atendidos com IP no país [10]. A Tabela 1 apresenta um resumo do perfil nacional e de suas cinco regiões em termos da tecnologia utilizada em IP.

TABELA 1. DISTRIBUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL.

Tipo	Brasil	Norte	Nordeste	Sul	Centro-Oeste	Sudeste
Vapor de Mercúrio	23,6%	31,3%	20,7%	23,9%	23,0%	24,4%
Vapor de Sódio	71,1%	64,5%	68,6%	71,4%	72,2%	72,5%
LED	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%
Outras	5,3%	4,2%	10,7%	4,7%	4,9%	3,1%

Fonte: [10].

Apesar da baixa aplicação de projetos de IP utilizando LED, uma pesquisa realizada por [10], em maio de 2015, que incluiu uma amostra de mais de 300 municípios de todos os estados do Brasil, demonstrou que a aplicação da tecnologia LED na iluminação pública é conhecida por 84,1% dos municípios brasileiros.

B. PROCEL Reluz

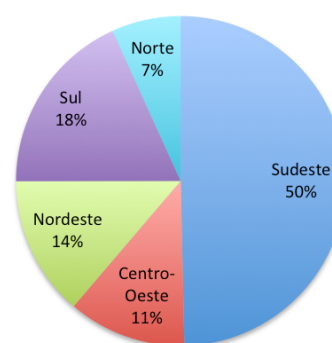
Apesar das dificuldades, o Brasil possui um sistema eficiente e consegue manter uma qualidade na prestação do serviço de IP. Com o advento de novas tecnologias que proporcionam uma diminuição no consumo de energia e aumento da malha de IP, a Eletrobras, com a criação do PROCEL Reluz, tenta, de maneira eficiente, reduzir os gastos e consumo de energia do sistema de iluminação pública brasileiro.

O PROCEL promove a racionalização da produção e consumo de energia elétrica para combater o desperdício e reduzir os custos e os investimentos setoriais, aumentando a eficiência energética. No ano 2000 foi criado o subprograma PROCEL Reluz que atua para promover o desenvolvimento de sistemas eficientes de iluminação pública e sinalização semafórica, bem como a valorização noturna dos espaços públicos urbanos, contribuindo para reduzir o consumo de energia elétrica, melhorar as condições de segurança nas vias públicas e a qualidade de vida nas cidades brasileiras [11].

Além de promover ações de eficiência energética em iluminação pública, o PROCEL Reluz passou a englobar também eficiência nas sinalizações semafóricas. Com isso, o programa já efetivou a substituição de aproximadamente 3,5 milhões de pontos de iluminação [11] com o intuito de atribuir níveis de iluminância adequados com as normas técnicas, beneficiando e melhorando a qualidade de vida da população.

Visando estar sempre alinhado à eficiência energética, o PROCEL Reluz já fez a substituição de lâmpadas incandescentes, mistas e a vapor de mercúrio por lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão ou a vapor metálico. A Figura 1 apresenta a distribuição desses pontos de luz por região.

FIGURA 1. DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA IMPLEMENTADOS PELO PROCEL RELUZ DESDE 2001.



Fonte: [3].

A evolução do número de pontos substituídos e correspondentes resultados, em termos de energia economizada e redução de demanda na ponta obtidas por meio dos projetos já implementados pela Eletrobras no segmento de iluminação pública, é bastante relevante. De 1994 até 2016 o programa fez a substituição de 3.487.348 pontos de IP, o que corresponde a um acúmulo de 1.216,73 milhões de kWh e 280,25 MWh de demanda retirada no horário de ponta [11].

Com o avanço da tecnologia LED e impulsionado pela Lei Nº 13.280/2016, o Procel Reluz, atualmente tem como foco a promoção da iluminação pública a LED [11]. Como forma de incentivo, em 2017, foi lançado um investimento de aproximadamente R\$ 17,5 milhões de recursos não reembolsáveis na Chamada Pública do Procel Reluz 2017 para que prefeituras apresentem propostas para a modernização dos seus sistemas de iluminação pública utilizando LED's. Foram inscritos 1.101 municípios na Primeira Chamada Pública do Procel Reluz [11]. A Figura 2 mostra localização dos municípios participantes dessa chamada.

FIGURA 2. MUNICÍPIOS INSCRITOS NA PRIMEIRA CHAMADA DO PROCEL RELUZ.



Fonte: [3].

Como pode ser visto na Figura 2, todos os estados foram contemplados com o programa PROCEL Reluz em 2017,

com a maioria de pontos instalados no Nordeste, Centro-Oeste e Sul do Brasil. O programa ainda conta com projetos de melhoria, expansão, iluminação especial, iluminação de áreas públicas esportivas e inovação tecnológica na IP.

C. Características de Iluminação

Nesse tópico serão apresentados todos os aspectos relacionados a luminotécnica como fluxo luminoso, eficiência luminosa, Índice de Reprodução de Cores (IRC) e temperatura de cor, de acordo com a NBR 5101:2012 de iluminação pública. Esses conceitos são importantes para ter um melhor entendimento do trabalho em si e como foram feitas as análises dos resultados.

1) Fluxo Luminoso

Fluxo luminoso é a quantidade de luz ou radiação total emitida por uma lâmpada em todas as direções. Sua unidade é o lúmen (lm) e o símbolo a letra grega Φ .

2) Eficiência Luminosa

É a relação entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência (W) consumida. É representada pelo símbolo grego Eta (η) e a unidade é lúmen por watt (lm/W). A Equação 1 mostra como se dá essa relação:

$$\eta = \frac{\Phi(\text{lúmen})}{W(\text{potência})} \quad (1)$$

É uma grandeza extremamente simples, permite a seleção de fontes luminosas eficientes e adequadas à tarefa visual. Quanto maior o fluxo luminoso de uma lâmpada em relação a potência, melhor será a sua eficiência.

3) Iluminância

É o fluxo luminoso que incide em uma área, ou seja, a quantidade de luz que chega a um determinado ponto. É representada pelo símbolo (E) e sua unidade é o lux (lx). Logo, a iluminância é a quantidade de luz necessária para realizar determinadas tarefas. A NBR 5413 de Iluminação de Interiores determina a quantidade de Iluminância mínima, média e máxima necessária para realização de certas atividades, espaços e cômodos. A Equação 2 representa como é feito o cálculo da Iluminância:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2)$$

Onde: Φ é o fluxo luminoso (lm);

A é a área (m²);

E é a iluminância (lx).

Logo, um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen [13].

4) Luminância

A luminância descreve a medição da quantidade de emissão de luz que passa através ou é refletida a partir de uma superfície em particular em um certo ângulo. O seu símbolo é L e o cálculo é definido pelo número de candelas por metro quadrado (cd/m²), como mostra na Equação 3:

$$L = \frac{cd}{A} \quad (3)$$

Onde, L é a Luminância;

cd é a quantidade de candela, característica da fonte luminosa;

A é a área da superfície (m²)

5) Índice de Reprodução de Cor

É a relação entre a cor real de um objeto ou superfície e a aparência percebida diante de uma fonte luminosa. Esse índice varia de 0 a 100%, sendo que, quanto mais próximo de 100%, maior a fidelidade e precisão das cores dos objetos.

É representado pelo símbolo IRC e a unidade é a porcentagem (%). As lâmpadas halógenas, incandescentes e LED apresentam IRC de 80% a 100%. Logo, essas são as que reproduzem com mais fidelidade as cores reais dos objetos. Já as lâmpadas a Vapor de Sódio e Mercúrio, com IRC de menos de 40% apresentam menos fidelidade de cor.

6) Temperatura de Cor

É a aparência cromática da luz emitida por determinada fonte luminosa. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a tonalidade da luz emitida. É representada pelo símbolo K e a unidade é o Kelvin.

As cores quentes vão até 3.000 K, as cores neutras entre 3.000 K e 4.000 K e as cores frias acima deste último valor. As cores quentes são empregadas quando se deseja um ambiente mais íntimo, sociável, pessoal e exclusivo como residências, bares e restaurantes. As cores frias são usadas quando se deseja um ambiente formal e limpo como escritórios, recintos de fábricas, hospitais, etc [13].

D. Componentes da Iluminação Pública

O sistema de iluminação pública atual é constituído de luminárias, lâmpadas, relés fotocélulas, reatores, braço de sustentação das luminárias, suportes e condutores. A seguir será detalhada a função e objetivo de cada equipamento.

1) Luminárias

Elas tem a função de abrigar a lâmpada para protegê-la das intempéries climáticas e vandalismo. Também refletem a luz da lâmpada no sentido do solo, de modo a proporcionar maior luminosidade no ambiente onde estiver instalada.

Existem vários modelos e fatores que devem ser considerados na especificação e compra de luminárias para iluminação pública. Dentre eles os mais importantes são: corpo refletor, porta-lâmpada, fechamento, alojamento para equipamentos auxiliares e tomada para relé.

2) Lâmpadas

A lâmpada é a principal componente em um sistema de iluminação. Também é responsável pelo fluxo luminoso, consumo de energia e reprodução de cores do local iluminado. Segundo [13], existem dois princípios de funcionamento que podem ser utilizados pelas lâmpadas: o da incandescência e o da descarga elétrica. As lâmpadas que utilizam a incandescência são a incandescente e a halógena. As demais, fluorescentes, vapor metálico, vapor de mercúrio e vapor de sódio. Citando apenas as mais usadas na iluminação pública, são lâmpadas de descarga. Existem ainda as lâmpadas mistas, que combinam as duas

tecnologias, incandescência e descarga. Nesse artigo serão abordadas as lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP) e Vapor Metálico (VM), além da lâmpada tipo LED.

a) Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão

Esse tipo de lâmpada é, atualmente, o mais utilizado para IP devido à sua tecnologia que proporciona mais eficiência, durabilidade e confiabilidade.

Essas lâmpadas utilizam uma pequena quantidade de sódio misturado com mercúrio, que é colocada em uma cápsula de vidro, com gás xenônio ou argônio em seu interior. Esses gases nobres ativam o arco voltaico que é formado entre os eletrodos colocados nas extremidades da cápsula e iniciam a ignição da lâmpada. A Figura 3 mostra como se apresenta comercialmente esse tipo de lâmpada.

FIGURA 3. LÂMPADA DE VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO.



Fonte: [16].

De acordo com [13], a luz dessas lâmpadas possui tonalidade amarelada devido ao sódio e seu espectro luminoso é descontínuo. O IRC das lâmpadas VSAP varia muito conforme o tipo e modelo, indo de 20%, para lâmpadas comumente aplicadas na iluminação pública, a 70% em lâmpadas com rendimento de cor melhorado. Sua temperatura de cor gira em torno de 2.000 K a 3.200 K. Com o tempo de uso, pode ocorrer variação na tonalidade da luz emitida.

b) Lâmpadas de Vapor Metálico

A lâmpada de vapor metálico combina iodetos metálicos (tálio, índio) com altíssima eficiência energética, excelente reprodução de cor, longa durabilidade e baixa carga térmica. Elas são versáteis em sua utilização por possibilitar variar a coloração da lâmpada pela seleção dos iodetos metálicos colocados no interior do tubo de descarga. Devido à sua alta tensão de partida em alguns modelos, as lâmpadas a Vapor Metálico exigem equipamentos auxiliares especialmente projetados. Alguns modelos exigem, também, um dispositivo de partida (*starter*). A Figura 4 mostra como podem se apresentar esse tipo de lâmpada.

FIGURA 4. LÂMPADA A VAPOR METÁLICO.



Fonte: [16].

Quanto as aplicações, podem ser utilizadas em iluminação de lojas, estádios de futebol, monumentos, indústrias, residências, e até mesmo, iluminação automotiva, com as chamadas lâmpadas de xenônio, que são lâmpadas de vapor metálico com atmosfera de xenônio, capazes de acender instantaneamente. Porém, esse tipo de lâmpada não está nas indicações do PROCEL Reluz devido às suas características funcionais como eficiência luminosa e vida útil, que ainda são baixas quando comparadas com lâmpadas a Vapor de Sódio de Alta Pressão [13].

3) Reatores

Estes são equipamentos auxiliares utilizados em conjunto com lâmpadas de descarga. Servem para dar partida estabilizada e firme à lâmpada, sem cintilação em qualquer situação. Sem reator, a lâmpada ligada diretamente à rede iria exigir mais e mais corrente até se queimar. A corrente ideal para o funcionamento da lâmpada é limitada pelo reator [13].

Para iluminação pública, no mercado tem as opções de reatores embutidos na luminária, e externos, encaixados através de uma alça ao poste. Os dois tipos de reatores que podem ser usados na iluminação pública são o eletromagnético e o eletrônico. O eletromagnético é mais comumente encontrado nas instalações atuais, devido à sua maior robustez e menor custo. Porém, o reator eletrônico também tem suas vantagens, por possuir uma tecnologia inovadora, não necessita de re-ignição constante, como ocorre nos reatores eletromagnéticos convencionais. Isso faz com que a lâmpada aumente em até 30% sua vida útil.

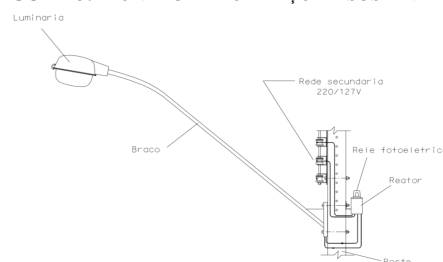
4) Relé Fotoelétrico

Esse equipamento é muito utilizado em automação residencial, industrial e também na IP. Ele faz com que qualquer equipamento entre em funcionamento quando a iluminância do ambiente estiver abaixo de um valor desejado e desligá-lo ao amanhecer ou quando a iluminância estiver acima de um valor previamente especificado. No caso da IP, as lâmpadas são acesas quando a iluminância ficar abaixo de 10 lux e desligadas ao amanhecer. O relé fotoelétrico possui em seu interior um sensor LDR que é capaz de variar uma pequena resistência de acordo com a quantidade de luz que é incidida sobre ele. Desta maneira, de acordo com essa resistência é possível fazer circular uma corrente por uma bobina que fará com que um contato possa abrir ou fechar, comutando assim o circuito que estará ligado a este relé [17].

5) Braços de Sustentação das Luminárias

Os braços são utilizados para dar suporte a luminária e também proporcionam uma melhor distribuição do fluxo luminoso da lâmpada. Sem a sua utilização, grande parte da luz emitida refletiria na estrutura de concreto dos postes e seria desperdiçada. A Figura 5 mostra como é feita a instalação dos braços de sustentação.

FIGURA 5. MONTAGEM DO BRAÇO DE SUSTENTAÇÃO.



Fonte: [13].

Para saber o comprimento ideal e a inclinação dos braços, devem-se seguir as normas da NBR 5101:2012, que foram feitas para otimizar a distribuição da luz. No caso deste trabalho serão utilizadas normas da COSERN, visto que estas são baseadas na NBR e trata-se da concessionária de energia local. A norma da COSERN que trata de iluminação pública é a Norma 0025:2016 - Projeto de Rede de Distribuição de Iluminação Pública [18].

A partir dessa norma, para vias com largura de até 7m deve-se utilizar um braço de sustentação com 1m de comprimento da base até o ponto da luminária. Para ruas até 9m de comprimento, utiliza-se um braço de sustentação de 1,6 m. Já para as vias até 14 m, recomenda-se a utilização de braço de sustentação de 2 m de comprimento.

E. Tecnologia LED

O LED (*Light Emitting Diode*) é uma tecnologia que vem crescendo em larga escala nos últimos anos. Ela é considerada promissora na iluminação pública pela sua baixa potência, diversidade de utilização e combinação para formar painéis devido as suas dimensões reduzidas, possui vida útil maior que as lâmpadas convencionais e tem uma excelente saturação de cor, pois emite um comprimento de onda, gerando a luz em uma frequência determinada e específica.

A Eficiência Luminosa das lâmpadas de LED é maior se comparada com a fluorescente. Por exemplo, uma lâmpada fluorescente com potência de 20 W possui fluxo luminoso de 1200 lm, resultando em uma eficiência luminosa de 60 lm/W. Já as lâmpadas que utilizam LED que possuem potência de 6 W, possuem fluxo luminoso de 500 lm e eficiência luminosa de 83 lm/W.

Além dos benefícios mencionados, pode-se citar algumas desvantagens da iluminação do tipo LED, como por exemplo, trata-se de uma tecnologia relativamente nova no mercado, ainda possui um custo maior, se comparado com outras tecnologias; os LED's precisam de alguns elementos auxiliares como *driver*, dissipador, ótica, controle e *software*, que são componentes indispensáveis sem os quais o LED não funcionará; por último, o LED necessita de uma corrente contínua estável e constante impedindo alterações no comprimento de onda. A corrente alternada, que vem da rede normal, é convertida para corrente contínua pelo *driver* [7].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

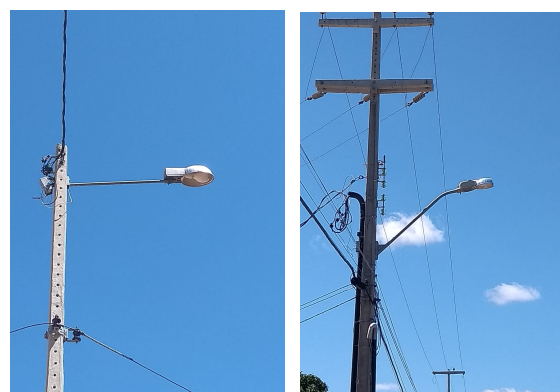
O projeto aqui proposto tem por finalidade inicial analisar a atual situação do sistema de iluminação pública do Campus Leste da UFERSA Mossoró-RN, fazendo um levantamento da quantidade de pontos de iluminação, do tipo de tecnologia empregada nas lâmpadas, como também potência e demais aspectos relacionados às características da IP.

A. Situação Atual da Iluminação Pública da UFERSA

Após a análise e estudo da planta baixa das instalações de baixa tensão das vias de acesso internas do Campus Leste da UFERSA, foi constatada a presença de 250 luminárias, sendo 166 pontos com uma única luminária e 21 pontos com uma luminária de 4 pétalas. A atualização da rede de IP foi feita em 2017 pelos engenheiros e técnicos do Superintendência de Infraestrutura da UFERSA (SIN) e a contagem dos pontos de iluminação foi realizada a partir dessa planta para utilização

nesse projeto. As Figuras 6 e 7 ilustram os dois tipos de postes utilizados na iluminação pública da Universidade.

FIGURA 6. POSTES COM UMA LUMINÁRIA.



Fonte: Autoria Própria, 2018.

FIGURA 7. POSTES COM UMA LUMINÁRIA DE QUATRO PÉTALAS.



Fonte: Autoria Própria, 2018.

A partir das pesquisas realizadas nos setores responsáveis pela manutenção da IP, não foi possível determinar um quantitativo do tipo de lâmpada usado como também a potência de operação das mesmas. Os setores de manutenção não possuem um controle das ordens de serviço de substituição de lâmpadas. Sendo assim, como segunda opção, foi feita uma tentativa de prever os tipos de lâmpadas que estão sendo utilizadas atualmente comparando as lâmpadas existentes nos almoxarifados e as últimas compras realizadas pela Universidade. Porém, dessa forma, também não foi possível determinar esse quantitativo, pois os almoxarifados possuem mais lâmpadas estocadas do que as que foram compradas nas últimas licitações.

Sendo assim, para se fazer a comparação do sistema de IP atual com o proposto nesse projeto serão determinados dois cenários: o primeiro cenário com lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão de 150W e o segundo cenário com lâmpadas a vapor metálico de 250W. Segundo os técnicos do Setor de Manutenção da Universidade, essas lâmpadas são as mais utilizadas atualmente na IP da UFERSA, conforme mostra a Tabela 2.

TABELA 2. CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS UTILIZADAS ATUALMENTE NA IP DA UFERSA.

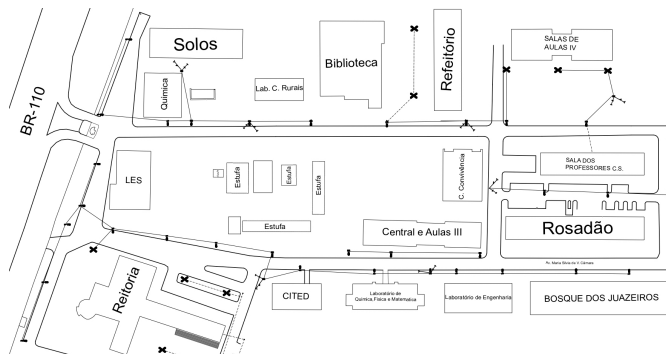
	Vapor de Sódio	Vapor Metálico
Fabricante	Avant	Empalux
Modelo	Tubular	Ovóide

	Vapor de Sódio	Vapor Metálico
Potência	150W	250W
Fluxo Luminoso	15763 lm	20000 lm
Eficiência Luminosa	105 lm/W	80 lm/W
Temperatura de Cor	2000K	5000K
IRC	>25%	>70%
Vida Útil	32.000 hs	15.000 hs

Fonte: Adaptada de [20] e [21].

Para a realização desse projeto, tornou-se necessário além da identificação dos tipos de luminárias, realizar a quantificação dos postes, observar o direcionamento, as distâncias entre eles, como também a altura do ponto de luz. Esse processo foi realizado através de amostragem em visita *in loco*. Como a malha de IP da Universidade é bastante extensa, não foi possível abranger todo o Campus, logo as medições foram feitas nas vias principais, como mostra a Figura 8.

FIGURA 8. PARTE DA PLANTA BAIXA COM SISTEMA DE IP DO CAMPUS LESTE DA UFERSA.



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Os dados foram coletados ao longo das vias onde estão localizados os postes que em sua maioria são de 11 metros e as lâmpadas do tipo Vapor de Sódio e Vapor Metálico. Não foi possível determinar a altura de montagem da luminária. Por esse motivo, determinou-se que a altura dos pontos de luz é de 8 m, de acordo com a Norma 0025:2016 da COSERN que trata de Projeto de Rede de Distribuição de Iluminação Pública, e 20 m de altura os postes que contêm quatro pétalas por serem utilizados em iluminação de grandes pátios e estacionamentos [20].

Também foi necessário mensurar as distâncias entre os postes, largura da via e das calçadas. Logo, foi verificado que não há um padrão de distribuição dos postes. Como a Universidade é antiga e, aos poucos vem se desenvolvendo, ainda há postes antigos e as novas formas de iluminação são alocadas de acordo com a demanda e ampliação da Universidade. Nesse caso, também será utilizada a Norma 0025:2016 da COSERN que determina uma distância máxima de 40 m entre os postes. Porém, em algumas medições, foi constatado que a maioria dos postes estavam entre 35 m e 40 m de distância. Então, nas simulações computacionais foi considerada a pior situação que seria com 40 m. As avenidas principais possuem largura de 5 m e as vias de passeio 2 m de comprimento. A Figura 9 ilustra parte de uma das vias de tráfego do Campus Leste da Ufersa

Mossoró-RN e como se dispõe os postes e o conjunto de luminárias com lâmpadas do tipo VSAP e VM.

FIGURA 9. PARTE DE UMA DAS VIAS DE TRÁFEGO DA UFERSA.



Fonte: Autoria Própria, 2018.

B. Classificação da Via Pública (NBR 5101:2012)

Para determinar o nível de iluminância adequado para cada tipo de via a fim de garantir a funcionalidade do sistema tanto para veículos como para pedestres, é necessário seguir os critérios da NBR 5101:2012 (Iluminação Pública).

O primeiro quesito a ser verificado é a classificação das vias públicas, conforme sua natureza. As vias da Ufersa foram classificadas como Vias Locais (A3) que, segundo a NBR 5101:2012, permitem acesso às edificações e a outras vias urbanas, com grande acesso e pequeno volume de tráfego, caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas, com velocidade máxima de 30 km/h [5].

O próximo ponto é a classificação das vias com relação às características de tráfego. De acordo com a Tabela 1 presente na NBR 5101:2012, classificaram-se como Leve (L) por apresentar volume de tráfego noturno de veículos por hora de 150 a 500, em ambos os sentidos, em pista única. Com relação ao tráfego de pedestres cruzando vias com tráfego motorizado, foi considerada uma classificação Média (M) pelo fato de haver grande movimentação de pessoas entre prédios e também que seja garantida uma maior segurança para a comunidade acadêmica.

De posse dessas características, é possível determinar as classes de iluminação para as vias da universidade para tráfego de veículos e pedestres. Com relação aos veículos, foi determinada a classe V3 que propõe uma iluminância média de 15 lx e fator de uniformidade mínimo de 0,2. No caso dos pedestres, foi escolhida a classificação P2 que apresenta iluminância média de 10 lx e fator de uniformidade mínimo de 0,25.

As iluminâncias médias mínimas ($E_{méd.min.}$), são valores obtidos pelo cálculo da média aritmética das leituras realizadas, em plano horizontal, sobre o nível do piso. Já o fator de uniformidade é medida pela relação entre a iluminância mínima e a média obtida na área iluminada. Uma boa uniformidade na iluminação é necessária a fim de

evitar sombras acentuadas e assegurar o conforto e a segurança para a prática da atividade exercida na área [19].

C. Comparação e Determinação do Nível de Iluminância Projetado

Para a verificação do nível de iluminamento atual e determinação do nível considerado ideal, foi utilizado o DiaLux, que atualmente é um dos *softwares* de simulação mais utilizados no mundo para diversas atividades. Com o DiaLux, é possível elaborar projetos luminotécnicos com precisão utilizando visualização 3D fotográfica realística do ambiente. Também é possível determinar o melhor nível de iluminância, a melhor luminária e a melhor distribuição da iluminação para se obter resultados de qualidade.

De acordo com [19], um projeto de IP deverá contemplar, além dos aspectos energéticos, que impactam diretamente nos custos de manutenção dos sistemas, os impactos que a iluminação pública causa no cotidiano das pessoas e no desenvolvimento local. Neste caso, respeitar os aspectos técnicos relacionados às configurações dos sistemas de iluminação pública; fomentar a busca por sistemas eficientes; utilizar de materiais e equipamentos de boa qualidade, reduzindo insatisfações por parte dos beneficiários com os serviços prestados; atender aos aspectos ambientais, evitando desperdícios de recursos; e ainda impactos negativos nas redes de distribuição de energia, no que tange a qualidade da energia.

1) Escolha da Iluminação LED

Foram feitas pesquisas de luminárias LED levando em consideração preço, disponibilidade e fácil acesso no mercado brasileiro. Com isso, foi escolhida uma luminária fabricada pela *SX Lightg*, uma empresa brasileira, que utiliza LED da Philips na fabricação de seus equipamentos para iluminação pública. Na Tabela 3 é mostrada as características luminotécnicas dessa luminária.

TABELA 3. CARACTERÍSTICAS DAS LUMINÁRIA LED ESCOLHIDA.

	LED
Fabricante	SX Lighting
Modelo	Linha Pública
Potência	106W
Fluxo Luminoso	18000 lm
Eficiência Luminosa	160 lm/W
Temperatura de Cor	4000K – 5000K
IRC	>70%

Fonte: [22].

Com isso, o modelo escolhido SX-LPI106, mostrado na Tabela 3, possui Grau de Proteção IP 66, ou seja, é protegido contra penetração de poeira e água, possui vida útil de aproximadamente 100.000 horas e garantia de 5 anos pela fabricante. A Figura 10 ilustra o tipo de luminária escolhida.

FIGURA 10. LUMINÁRIA SX-LPI106.



Fonte: [22].

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A. Simulações Dialux

De posse de todas as informações (mostradas na seção III) a respeito das luminárias e tipos de lâmpadas utilizadas na IP da UFERSA, é possível realizar inicialmente uma simulação da situação atual com relação ao nível de iluminância. Foi utilizado o modo iluminação de rua do Dialux que, para utiliza-lo, é necessário inserir as características do ambiente. Para todas as simulações foram consideradas as seguintes constantes características do local:

- Largura da pista de rodagem: 5 m;
- Largura das calçadas: 2 m;
- Quantidade de faixa por rodagem: 2 und;
- Distribuição dos postes: unilateral superior;
- Distância entre os postes: 40 m;
- Altura do ponto de luz: 8 m;
- Comprimento do braço extensor: 1 m.

Para obter os melhores resultados, foi utilizado o catálogo da Philips como *plugin* para o DiaLux.

As primeiras simulações foram realizadas com as luminárias utilizando lâmpadas a VSAP e VM, que no caso, conforme supramencionado, são os tipos de lâmpadas mais utilizadas na IP da UFERSA. Foram utilizadas luminárias semelhantes as apresentadas nas estruturas de IP (Figura 11) e as características das lâmpadas como potência e fluxo luminoso foram alteradas no *software* de acordo com as especificações encontradas nos catálogos dos fabricantes.

FIGURA 11. LUMINÁRIA UTILIZADA NA SIMULAÇÃO COM LÂPADAS A VSAP E VM.



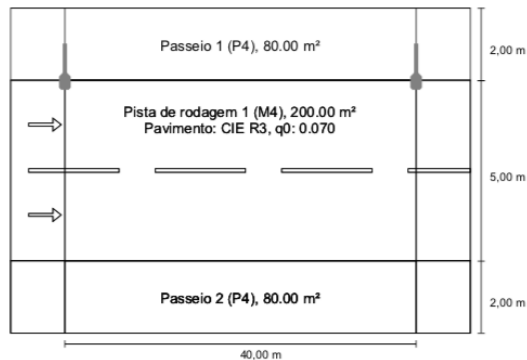
Fonte: [24].

O DiaLux trabalha com a malha de medição de iluminância. Esse método é apresentado na NBR 5101:2012 e é utilizado para calcular valores de iluminância média, máxima e mínima, além de auxiliar a identificar como funciona a distribuição desse fator de um ponto de luz a outro. De posse das dimensões do local, é possível saber quantos pontos equidistantes são necessários para determinar o nível de iluminância naquela área. O DiaLux faz esse

cálculo e o projetista precisa saber as dimensões de rua e calçada, por exemplo.

A malha de medição de iluminância é utilizada tanto nas duas calçadas quanto na pista de rodagem. A Figura 12 ilustra como foi feita a divisão de calçadas (passeio 1 e 2) e pista de rodagem, como também as características de distância e comprimento.

FIGURA 12. VISÃO DO LOCAL SIMULADO.

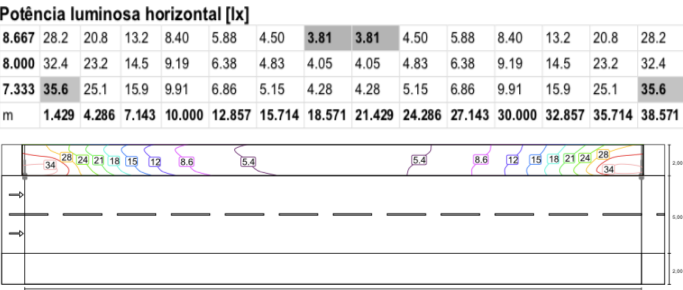


Fonte: [24].

A primeira simulação foi feita com luminárias contendo lâmpada a Vapor Metálico de 250W. As Figuras 13, 14 e 15 apresentam as malhas de medição de iluminância e também as linhas isográficas com seus respectivos valores para as áreas de passeio 1 e 2 (calçadas) e pista de rodagem.

FIGURA 13. MALHA DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA E LINHAS ISOGRÁFICAS PARA O PASSEIO 1.

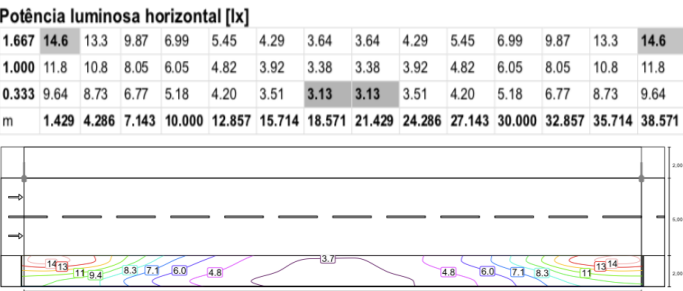
Passeio 1 (P4)



Fonte: [24].

FIGURA 14. MALHA DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA E LINHAS ISOGRÁFICAS PARA O PASSEIO 2.

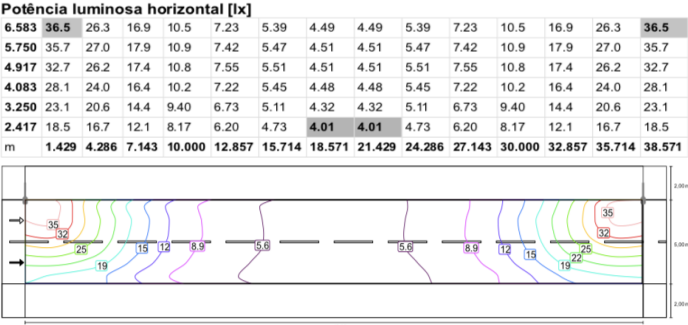
Passeio 2 (P4)



Fonte: [24].

FIGURA 15. MALHA DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA E LINHAS ISOGRÁFICAS PARA A PISTA DE RODAGEM.

Pista de rodagem 1 (M4)



Fonte: [24].

Com a análise dos dados mostrados nas Figuras 13, 14 e 15, podem-se determinar as características de iluminância do local, onde E é a luminância e U é o coeficiente de uniformidade de iluminância. A Tabela 4 mostra os valores calculados.

TABELA 4. VALORES OBTIDOS NA SIMULAÇÃO COM O USO DA LÂMPADA A VM PELO DIALUX.

	Passeio 1	Passeio 2	Pista de rodagem
E _{méd.}	13,4 lx	7,05 lx	13,6 lx
E _{mín.}	3,81 lx	3,13 lx	4,01 lx
E _{máx.}	35,6 lx	14,6 lx	36,5 lx
U	0,24	0,26	0,22

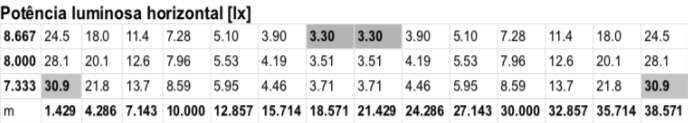
Fonte: Adaptado de [24].

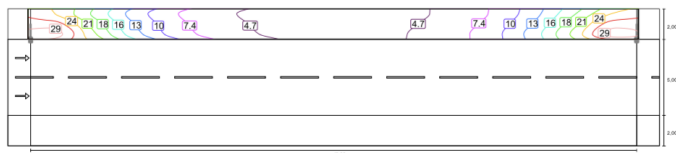
Analisando os resultados obtidos pelo DiaLux, percebe-se que os níveis de iluminância médio no Passeio 2 e Pista de Rodagem estão abaixo dos indicados pela norma NBR 5101:2012 que é de 15 lx para pistas de rodagem e 10 lx para calçadas nos casos em que os postes estão espaçados a 40 m de distância. Isso se deve ao baixo fluxo luminoso da lâmpada e luminária. O fato de a lâmpada de VM apresentar baixo fluxo luminoso e alta potência de funcionamento, faz com que não sejam mais recomendadas pelo programa PROCEL Reluz.

A segunda simulação foi feita com luminárias contendo lâmpada a Vapor de Sódio de Alta Pressão de 150W. As Figuras 16, 17 e 18 apresentam as malhas de medição de iluminância e também as linhas isográficas com seus respectivos valores para as áreas de passeio 1 e 2 e pista de rodagem.

FIGURA 16. MALHA DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA E LINHAS ISOGRÁFICAS PARA O PASSEIO 1.

Passeio 1 (P4)





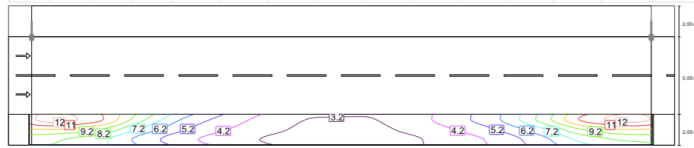
Fonte: [24].

FIGURA 17. MALHA DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA E LINHAS ISOGRÁFICAS PARA O PASSEIO 2.

Passeio 2 (P4)

Potência luminosa horizontal [lx]

1.667	12.7	11.5	8.56	6.06	4.73	3.72	3.15	3.15	3.72	4.73	6.06	8.56	11.5	12.7
1.000	10.2	9.36	6.98	5.24	4.17	3.40	2.93	2.93	3.40	4.17	5.24	6.98	9.36	10.2
0.333	8.35	7.56	5.87	4.49	3.64	3.04	2.71	2.71	3.04	3.64	4.49	5.87	7.56	8.35
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143	30.000	32.857	35.714	38.571



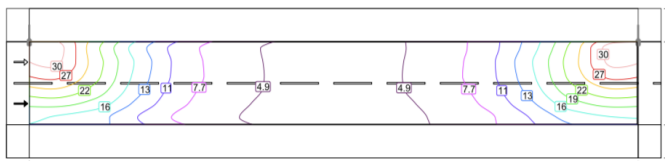
Fonte: [24].

FIGURA 18. MALHA DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA E LINHAS ISOGRÁFICAS PARA A PISTA DE RODAGEM.

Pista de rodagem 1 (M4)

Potência luminosa horizontal [lx]

6.583	31.6	22.8	14.6	9.08	6.26	4.68	3.89	3.89	4.68	6.26	9.08	14.6	22.8	31.6
5.750	31.0	23.4	15.5	9.42	6.43	4.74	3.91	3.91	4.74	6.43	9.42	15.5	23.4	31.0
4.917	28.3	22.7	15.1	9.38	6.54	4.77	3.91	3.91	4.77	6.54	9.38	15.1	22.7	28.3
4.083	24.3	20.8	14.2	8.85	6.26	4.72	3.88	3.88	4.72	6.26	8.85	14.2	20.8	24.3
3.250	20.0	17.9	12.5	8.15	5.83	4.42	3.75	3.75	4.42	5.83	8.15	12.5	17.9	20.0
2.417	16.1	14.5	10.5	7.08	5.37	4.10	3.47	3.47	4.10	5.37	7.08	10.5	14.5	16.1
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143	30.000	32.857	35.714	38.571



Fonte: [24].

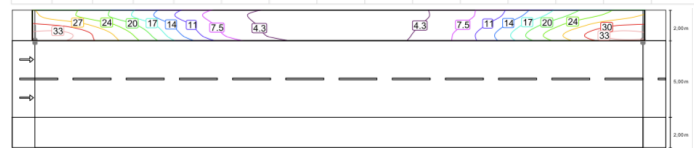
A última simulação foi feita com a luminária proposta, SX-LPI106 com tecnologia da Philips e potência de 106W. As Figuras 19, 20 e 21 apresentam as malhas de medição de iluminância e também as linhas isográficas com seus respectivos valores para as áreas de passeio 1 e 2 e pista de rodagem.

FIGURA 19. MALHA DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA E LINHAS ISOGRÁFICAS PARA O PASSEIO 1.

Passeio 1 (P4)

Potência luminosa horizontal [lx]

8.667	25.4	21.6	15.7	9.35	5.25	3.34	2.65	2.65	3.34	5.25	9.35	15.7	21.6	25.4
8.000	30.2	26.0	19.7	11.7	6.05	3.63	2.73	2.73	3.63	6.05	11.7	19.7	26.0	30.2
7.333	34.9	29.3	22.3	13.4	7.04	3.96	2.80	2.80	3.96	7.04	13.4	22.3	29.3	34.9
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143	30.000	32.857	35.714	38.571



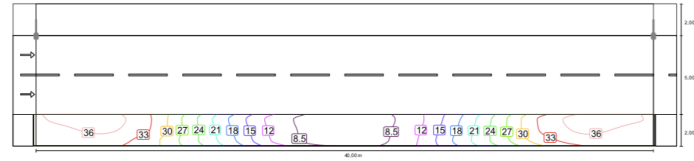
Fonte: [24].

FIGURA 20. MALHA DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA E LINHAS ISOGRÁFICAS PARA O PASSEIO 2.

Passeio 2 (P4)

Potência luminosa horizontal [lx]

1.667	36.1	37.4	33.8	25.3	16.7	9.93	6.94	6.94	9.93	16.7	25.3	33.8	37.4	36.1
1.000	35.0	36.5	33.4	25.4	17.4	10.3	7.20	7.20	10.3	17.4	25.4	33.4	36.5	35.0
0.333	33.0	34.5	31.6	25.2	18.1	10.7	7.38	7.38	10.7	18.1	25.2	31.6	34.5	33.0
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143	30.000	32.857	35.714	38.571



Fonte: [24].

FIGURA 21. MALHA DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA E LINHAS ISOGRÁFICAS PARA A PISTA DE RODAGEM.

Com a análise dos dados das Figuras 16, 17 e 18 podem-se determinar as características de iluminância do local. A Tabela 5 mostra os valores calculados.

TABELA 5. VALORES OBTIDOS NA SUMULAÇÃO COM O USO DA LÂMPADA A VSAP PELO DIALUX.

	Passeio 1	Passeio 2	Pista de rodagem
E_{méd.}	11,6 lx	6.11 lx	11,8 x
E_{mín.}	3,30 lx	2,17 lx	3,47 lx
E_{máx.}	30,9 lx	12,7 lx	31,6 lx
U	0,24	0,2	0,23

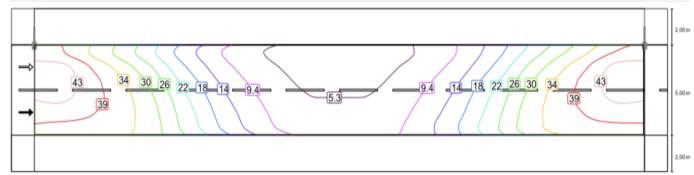
Fonte: Adaptado de [24].

Após análise dos valores apresentados pela simulação no DiaLux, na Tabela 5, percebe-se que os níveis de iluminância média em algumas áreas estão abaixo do limite determinado pela NBR 5101:2012 que é de 15 lx para pistas de rodagem e 10 lx para calçadas. Quando considerada uma distância de 40 m entre dois pontos de luz, os níveis na calçada oposta aos postes e na pista de rodagem apresentam valores insatisfatórios.

Pista de rodagem 1 (M4)

Potência luminosa horizontal [lx]

6.583	39.6	32.6	24.6	15.3	8.38	4.68	3.19	3.19	4.68	8.38	15.3	24.6	32.6	39.6
5.750	44.1	36.7	28.2	17.7	9.86	5.60	3.74	3.74	5.60	9.86	17.7	28.2	36.7	44.1
4.917	44.9	38.9	30.9	20.3	11.7	6.72	4.41	4.41	6.72	11.7	20.3	30.9	38.9	44.9
4.083	43.6	39.2	32.5	22.3	13.3	7.87	5.27	5.27	7.87	13.3	22.3	32.5	39.2	43.6
3.250	41.1	38.3	33.4	23.6	14.7	8.83	6.03	6.03	8.83	14.7	23.6	33.4	38.3	41.1
2.417	37.8	37.2	33.5	24.7	15.9	9.61	6.65	6.65	9.61	15.9	24.7	33.5	37.2	37.8
m	1.429	4.286	7.143	10.000	12.857	15.714	18.571	21.429	24.286	27.143	30.000	32.857	35.714	38.571



Fonte: [24].

Com a análise dos dados das Figuras 19, 20 e 21 podem-se determinar as características de iluminância do local. A Tabela 6 mostra os valores calculados.

TABELA 6. VALORES OBTIDOS NA SIMULAÇÃO COM O USO DA LUMINÁRIA LED PELO DIALUX.

	Passeio 1	Passeio 2	Pista de rodagem
E_{méd.}	14,1 lx	23,4 lx	22,1 lx
E_{mín.}	2,65 lx	6,94 lx	3,19 lx
E_{máx.}	34,9 lx	37,4 lx	44,9 lx
U	0,25	0,3	0,2

Fonte: Adaptado de [24].

Com a proposta da substituição das lâmpadas utilizadas atualmente na IP da UFERSA pela tecnologia LED, percebe-se que em todas as áreas simuladas são cumpridos os mínimos exigidos de nível de iluminância média pela norma NBR 5101:2012 que é de 15 lx para pistas de rodagem e 10 lx para calçadas. A comparação é feita a partir dos dois cenários antes mencionados: um com todas as lâmpadas a VSAP e outro com lâmpadas de VM. Comparando os dois cenários anteriores com a simulação feita com o LED, os resultados são mais satisfatórios utilizando a lâmpadas do tipo LED, até nas situações mais extremas, quando a distância entre os pontos de iluminação forem de 40 m.

B. Estimativa de Demanda e Consumo de Energia Elétrica

O projeto prevê a substituição das luminárias utilizadas na IP da Universidade por luminárias contendo LED. A coleta de dados foi realizada com base na potência nominal do fabricante dos conjuntos do sistema de iluminação pública utilizando lâmpadas VSAP e VM (considerando as perdas do reator) e do sistema com as luminárias LED escolhidas para esta análise. A Tabela 7 apresenta os dados de potência para os tipos de luminárias e, dessa forma, pode-se prever a redução percentual de demanda de potência ativa da luminária LED.

TABELA 7. ESTIMATIVA DA POTÊNCIA INSTALADA.

Tipo	Qtd.	Pot. Luminária	Carga instalada
VSAP	250	176 W	44 kW
LED	250	106 W	26,5 kW
Diminuição desta parcela de demanda de energia elétrica com a proposta da iluminação com LED: 39,77%			
VM	250	276 W	69 kW
LED	250	106 W	26,5 kW
Diminuição desta parcela de demanda de energia elétrica com a proposta da iluminação com LED: 61,6%			

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A demanda das luminárias tipo LED é aproximadamente 40% menor que a potência demandada pelas luminárias a VSAP e 62% menor que a potência demandada pelas luminárias a VM, ou seja, há uma considerável redução na demanda de energia elétrica sem que ocorra perda da qualidade da iluminação, aferida pelo nível de iluminância. Vale lembrar, que adicionalmente, obteve-se também uma melhoria significativa do índice de reprodução de cores pois as lâmpadas LED possuem IRC superior as demais.

Seguindo o mesmo raciocínio, pode-se estimar também o consumo de energia elétrica do sistema (consumo diário, mensal e anual). A Tabela 8 apresenta dados de potência, quantidade de conjuntos de iluminação, tempo estimado de

uso e consumo de energia elétrica para os três tipos de luminárias, observando a estimativa de consumo para 4.380 h, correspondente a um ano de uso com a redução percentual de consumo de energia da luminária LED.

TABELA 8. ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.

Tipo	Pot.Total (kW)	Tempo (h)	kWh/dia	MWh/mês	MWh/ano
VM	69	12	828	25,67	308,04
LED	26,5	12	318	9,54	114,48
Economia em kWh/dia		Economia em MWh/mês		Economia em MWh/ano	
510		16,13		193,56	
VSAP	44	12	528	15,84	190,08
LED	26,5	12	318	9,54	114,48
Economia em kWh/dia		Economia em MWh/mês		Economia em MWh/ano	
210		6,3		75,6	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Os dados ilustrados na Tabela 8 mostram que como a potência demandada pelas luminárias LED é menor do que as luminárias de VSAP e VM, e considerados as 250 luminárias de IP da Universidade, obtêm-se uma economia de consumo de energia ativa em torno de 6,3 MWh por mês ou 75,6 MWh por ano quando considerando lâmpadas VSAP e 16,13 kWh por mês ou 193,56 MWh por ano quando considerando lâmpadas de VM.

Outro ponto considerado é o fator de potência dos sistemas analisados. No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL estabelece que o fator de potência nas unidades consumidoras deve ser superior a 0,92 capacitivo durante as 6 horas da madrugada e 0,92 indutivo durante as outras 18 horas do dia. Esse limite é determinado pelo Artigo no 95 da Resolução ANEEL nº 414 de 09 de setembro de 2010 [4]. Nesse sentido, a Tabela 9 mostra os valores obtidos de potência aparente, potência reativa e corrente elétrica, calculados a partir da potência ativa e o fator de potência constantes nos dados dos fabricantes. Não foi possível determinar o fator de potência da lâmpada a VM da Empalux pela falta de informação no catálogo.

TABELA 9. CÁLCULO DAS POTÊNCIAS E CORRENTES ELÉTRICAS.

	P (kW)	Q (kVar)	S (kVA)	I (A)	FP
VSAP	44	91,6	98,98	450	0,44
LED	26,5	5,38	27,04	120,45	0,98

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A corrente elétrica solicitada do sistema é aproximadamente quatro vezes maior se comparada com o sistema com LED.

A exigência de medição do fator de potência pelas concessionárias é obrigatória para unidades consumidoras de alta tensão (supridas com mais de 1000 V), que é caso da UFERSA. Por isso, é evidente o melhor desempenho energético e os resultados do novo padrão de iluminação proposto para a IP da UFERSA. Isso permite concluir que a tecnologia LED apresenta-se, de fato, como uma evolução para sistemas de iluminação pública. No caso de instituições

públicas federais como a UFERSA, isso vem de encontro com a busca cada vez maior de aumentar a eficiência energética, beneficiando tanto a universidade quando aqueles que a frequentam.

C. Estudo de Viabilidade Econômica e Cálculo de Custo do Projeto Proposto

Dentre os vários aspectos a serem considerados em um estudo de viabilidade econômica, a determinação da vida útil do sistema é de extrema importância. De acordo com informações do fabricante, a lâmpada LED de 106 W do projeto proposto de IP da UFERSA, possui vida útil estimada de 100.000 horas, porém, para esse caso será considerada metade das horas pois algumas unidades podem apresentar defeito ao longo do tempo. Nos estudos aqui descritos, considera-se que as lâmpadas permanecerão ligadas 12 h por dia, que é aproximadamente o tempo que as luminárias permanecem acesas do pôr do sol ao nascer do dia. A partir da Equação 4, é possível estimar a vida útil em anos destas lâmpadas [19].

$$\text{Vida útil em anos} = \frac{\text{Vida útil da lâmpada (h)}}{\text{Tempo de utilização da lâmpada} \left(\frac{\text{h}}{\text{ano}}\right)} \quad (4)$$

$$\text{Vida útil em anos} = \frac{50.000}{12 \times 365} \cong 12 \text{ anos.}$$

Para uma operação de 12 horas por dia, a lâmpada LED terá uma vida útil estimada de aproximadamente 12 anos. Uma vez determinadas a vida útil de cada tipo de lâmpada é possível realizar o levantamento de quanto será o impacto nos custos com consumo de energia elétrica no projeto proposto.

A Tabela 10 mostra uma previsão do investimento na substituição da iluminação atual pela projetada. Para reduzir o custo, serão reutilizados vários dos componentes como braços de sustentação das luminárias que são compatíveis com a proposta, posteamento, condutores e relés fotoelétricos.

TABELA 10. CUSTOS UNITÁRIOS DE EQUIPAMENTO E MÃO DE OBRA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA UTILIZANDO LÂMPADAS LED.

Descrição	Quantidade	V. Unitário	V. Total
Luminária pública com lâmpada LED 106 W da Philips, SX-LPI106, 220-240V, 4000k, Efic. 120lm/W.	250	R\$ 974, 12	R\$ 243.530,00
Mão de obra (10% do valor total)	-	-	R\$ 24.353, 00
Custo Total			R\$ 267.883,00

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A partir do investimento relativo para o sistema, é calculado o valor unitário por lâmpada, que é a representação do custo calculado referente a cada luminária instalada de R\$ 1.071,53.

Como foi estimada a vida útil da lâmpada LED em aproximadamente 12 anos, o custo com consumo de energia ativa durante esse período, pode ser estimado através da aplicação da tarifa do kWh praticado pela concessionária local e constante na fatura de consumo de energia do cliente. Para isso, foram consideradas as Tabelas de Tarifas de Preços Finais de Energia Elétrica do Grupo A disponibilizadas pela COSERN, o qual a UFERSA faz parte, do período de julho de 2017 a julho 2018. Com posse desses dados, calculou-se a média dos valores cobrados nos últimos 12 meses de consumo ativo na ponta e fora da ponta. Logo, na Tabela 11 é possível prever os custos com energia elétrica nos próximos anos já considerando todas as alíquotas como ICMS, PIS e COFINS. Será considerada uma taxa no valor final em R\$/kWh de R\$ 0,53016419 de consumo ativo na ponta e R\$ 0,33554025 de consumo ativo fora da ponta com um acréscimo anual da inflação que foi estimada em 4% [25].

TABELA 11. ESTIMATIVA DE CUSTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DAS LUMINÁRIAS COM VSAP, VM E LED.

Descrição	VSAP	VM	LED
Consumo Energia (kWh/mês)	15.840	25.670	9.540
Consumo Energia (kWh/ano)	190.080	308.040	114.480
Consumo Energia ao mês – Fora da Ponta (R\$)	5.314,96	8.613,31	3.201,05
Consumo Energia ao mês – Na Ponta (R\$)	8.397,80	13.609,31	5.057,77
Custo Energia ao ano (R\$)	164.533,13	266.671,50	99.105,79
Custo Energia em 12 anos (R\$)	2.472.242,80	4.006.954,08	1.390.038,53

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Com as informações mostradas na Tabela 11 é possível fazer uma estimativa do *payback*, que é o período de retorno do investimento do projeto.

Comparando a utilização de lâmpadas a VSAP com a LED, há uma economia anual de aproximadamente R\$ 65.500,00 e R\$ 1.082.000,00 após 12 anos. Com relação a utilização de lâmpada a VM comparada com a LED, terá uma economia anual de aproximadamente R\$ 168.600,00 e R\$ 2.617.00 ao final de 12 anos.

De acordo com [23], para o cálculo simples do *payback*, é preciso colocar todos os custos relacionados ao investimento e devem ser incluídos custos com equipamentos, funcionários, despesas administrativas e operacionais relacionadas. Depois, por meio do demonstrativo de resultados, define-se o resultado médio mensal do fluxo de caixa, considerando um determinado período. Com isso, divide-se o investimento inicial por esse resultado e tem-se o *payback* do projeto, como mostrado na Equação 5.

$$\text{Payback (meses)} = \frac{\text{investimento inicial}}{\text{resultado médio do fluxo de caixa}} \quad (5)$$

Na situação em que a IP da UFERSA é composta apenas por lâmpadas a VM, o investimento inicial do projeto é R\$ 267.883,00 e o resultado médio mensal do fluxo de caixa é a diferença entre o Custo de Energia ao mês da VM comparada com a LED que é de R\$ 13.963,8. Logo, o *payback* para esse caso é de aproximadamente 19 meses, ou seja, 1 ano e 7 meses.

No caso da substituição das lâmpadas a VSAP pelas de LED, o resultado médio mensal do fluxo de caixa é de R\$ 5.453,94. Logo, o *payback* para esse caso é de 49 meses, ou 4 anos aproximadamente.

V. CONCLUSÃO

Os estudos realizados neste trabalho constatarem que apenas a potência instalada não é necessária para determinar a qualidade de um serviço de IP, mas também fatores como Índice de Reprodução de Cores (IRC), eficiência luminosa, níveis de iluminância e fluxo luminoso. Quando esses aspectos são desconsiderados em um projeto luminotécnico, culminam em um mal aproveitamento da fonte de luz causando desconforto a quem está exposto aquele ambiente por apresentar falta de qualidade na reprodução de cores ou até mesmo baixa iluminância.

Os dados obtidos nos catálogos das luminárias que utilizam LED e as simulações feitas pelo DiaLux mostraram que essa tecnologia apresenta IRC maior que outras lâmpadas, maior vida útil, que resulta em um retorno de investimento mais rápido, redução na manutenção ou troca dessas luminárias, além dos benefícios ambientais. A tecnologia LED já é realidade na IP e cada vez mais cresce a quantidade de dispositivos no mercado, fazendo com que aumente a competitividade.

No tocante à eficiência energética desse estudo, com relação ao consumo de energia ativa e demanda de potência ativa, as luminárias LED apontaram um potencial em torno de 40% menor que a potência demandada pelas lâmpadas de VSAP e aproximadamente 62% menor que as lâmpadas a VM, ou seja, houve uma significativa redução da demanda energética. Como a potência demandada pelas luminárias LED é menor do que as lâmpadas de alta pressão, no trecho estudado obteve-se uma economia de consumo de energia ativa estimada em 6,3 MWh por mês, ou 75,6 MWh por ano, caso sejam comparadas com as lâmpadas a VSAP e 16,13 MWh por mês, ou 193,56 MWh por ano quando comparada com as de VM. Outro ponto interessante observado é a diminuição de demanda de potência ativa em horário de ponta, pois a iluminação pública entra em funcionamento exatamente neste horário, o que traz benefícios econômicos nos custos dos insumos de energia elétrica da Universidade, e incorpora, de certa forma, maior alívio para o sistema elétrico.

Como foi mostrado, houve economia com o custo da energia elétrica e aumento da vida útil das luminárias, que é de 32.000 hs para as lâmpadas de VSAP e 15.000 hs para as de VM, o que implica diretamente no montante do recurso financeiro a ser investido. Para o pior caso, fazendo a substituição de todas as lâmpadas a VSAP pelas LED, estipulou-se um *payback* de aproximadamente 4 anos, devido a grande diferença de consumo ativo dessa tecnologia. Dessa

forma, as luminárias para iluminação pública com tecnologia LED, mostraram-se viáveis e com retorno financeiro favorável (retorno de investimento a partir do quarto ano da sua utilização) no contexto da viabilidade econômica e da eficiência energética, apresentando resultados favoráveis para um futuro projeto de iluminação pública implementado na UFERSA.

Como sugestão para futuros trabalhos, recomenda-se fazer uma avaliação do impacto na qualidade da energia elétrica com a substituição do sistema de iluminação pública e um estudo mais aprofundado e detalhado de viabilidade econômica e cálculo de relação custo benefício do projeto proposto.

REFERÊNCIAS

- [1] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. "Plano Nacional de Eficiência Energética – Premissas Básicas." 2010. 156 f.
- [2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. "Balanço Energético Nacional 2018. Relatório Síntese (Ano base 2017)." Rio de Janeiro – RJ. 2018.
- [3] ELETROBRAS/PROCEL. "Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Resultados do PROCEL." Rio de Janeiro, 2008
- [4] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. "Resolução Normativa Nº 414, de 9 de Setembro de 2010".
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. "Iluminação pública. NBR 5101." Rio de Janeiro, 2012, 35p MME –
- [6] BOREAL LED. "A História da Iluminação: Da Fogueira a Lâmpada Elétrica" Disponível em: <<https://blog.borealled.com.br/historia-da-iluminacao-fogo-vela-lampada-eletrica/>> . Acesso em: 19 ago. 2018.
- [7] LOPES, L. B. "Uma avaliação da tecnologia LED na Iluminação Pública." Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro – RJ. Fev. 2014.
- [8] AVER, A. "A relação da iluminação pública e a criminalidade." Publicado na Revista Online Especialize. Janeiro de 2013.
- [9] ROSITO, L. H. "Desenvolvimento da Iluminação Pública no Brasil." Publicado na revista O Setor Elétrico. Janeiro de 2009. Disponível em: <https://www.fne.org.br/upload/documentos/projetos/iluminacao-publica/desenvolvimento_i_p_no_brasil_-_luciano_haas_rosito.pdf> . Acesso em: 19 ago. 2018.
- [10] WORLD BANK GROUP. "Iluminando Cidades Brasileiras: Modelos de Negócio para Eficiência Energética em Iluminação Pública." Edição do Seminário, 01 jun. 2016.
- [11] ELETROBRAS. "Resultados PROCEL 2018. Ano base 2017." Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2018/docs/Procel_rel_2018_web.pdf> . Acesso em: 19 ago. 2018.
- [12] CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO PARANÁ (CREA-PR). "Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar - Iluminação Pública". Elaborado pelo Eng. Eletríc. Willy Schulz. Paraná, 2016.
- [13] DAMBISKI, L. P. "Aplicação do Programa Nacional De Iluminação Pública Eficiente (Procel-Reluz)". Trabalho de conclusão de curso do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. Dez. 2017.
- [14] AGUERA, R. S. "Cenário Brasileiro da Iluminação Pública". Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica e Computação. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 2015.
- [15] NEWLINE ILUMINAÇÃO. "Você sabe o que é temperatura de cor?". Disponível em: <<http://www.newline.ind.br/voce-sabe-o-que-e-temperatura-de-cor/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- [16] ALEX SOLUÇÕES ENERGÉTICAS. "Lâmpada Valpor Metálico 250W". Disponível em: <<http://eletrotecnicaalex.com.br/produto/lampada-vapor-metalico-250w/>> . Acesso em: 20 ago. 2018.
- [17] MUNDO ELÉTRICA. "Relé Fotoelétrico. O que é e como instalar." Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/rele-fotoeletrico-o-que-e-e-como-instalar/>>. Acesso em 21 ago. 2018.
- [18] COSERN. "Projeto de Rede de Distribuição de Iluminação Pública - NOR.DISTRIBU-ENGE-0025". Disponível em: <

<http://servicos.cosern.com.br/residencial-rural/Pages/Informa%C3%A7%C3%B5es/normas-e-padres.aspx>. Acesso em 20 ago. 2018.

- [19] ASCURRA, R. E. “Eficiência Elétrica em Iluminação Pública Utilizando Tecnologia LED: um Estudo de Caso.” Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT. Set. 2013.
- [20] EMPALUX. “Catálogo Anual”. Disponível em: <http://www.empalux.com.br/catalogo_empalux.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2018.
- [21] AVANT. “Catálogo Vapor de Sódio”. Disponível em: <<http://avantlux.com.br/produtos/pdf/lampada-vapor-de-sodio-tubular-avant.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2018.
- [22] SX LIGHTING. “Catálogo Luminária Pública 106W – SX-LPI106”. Disponível em: <<http://sxlighting.com.br/wp-content/uploads/2018/04/106-W-4.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- [23] SAIA DO LUGAR. “Payback: O que é e como calcular o da sua empresa.” Disponível em: < <http://saiadolugar.com.br/payback/>>. Acesso em: 29 ago. 2018.
- [24] DIALUX - DIAL. “Relatórios de luminotécnica.” Versão Evo 8. 2018.
- [25] BANCO CENTRAL DO BRASIL. “Resolução Nº 4.671”. 26 jun. 2018.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
CENTRO DE ENGENHARIAS

ATA DA DEFESA DE MONOGRAFIA

Às 14:00h do dia 11 de setembro de 2018, no Laboratório de Energias Renováveis (LENERG), Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semiárido, sede em Mossoró/RN, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de monografia de autoria do aluno **Sanderson Aron Moura Gurgel Sinedino de Oliveira**, aluno do curso de Engenharia Elétrica desta Instituição, com o título "Eficiência Energética em Iluminação Pública na UFERSA". A banca examinadora ficou assim constituída: Prof.^a Dr.^a Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra, presidente da banca e orientadora da monografia; Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale e Prof. Ms. Ednardo Pereira da Rocha, como membros. Foram registradas as seguintes ocorrências: o aluno apresentou o trabalho e houve arguição por parte dos membros da banca. As sugestões de alterações textuais foram entregues ao aluno que se comprometeu em fazê-las na sua totalidade. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, em reunião fechada, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 9,5 ; 9,5 ; 9,5 . Apuradas as notas, verificou-se que o aluno foi **APROVADO** com média geral 9,5 fazendo jus, portanto, ao título de Engenheiro Eletricista. Para constar, eu, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 11 de Setembro de 2018.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Prof.^a Dr.^a Fabiana Karla de O. M. Varella Guerra - UFERSA
Presidente

Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale - UFERSA
Primeiro Membro

Prof. Ms. Ednardo Pereira da Rocha - UFERSA
Segundo Membro