

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**

**ENGENHARIA ELÉTRICA**

**LUANA MUSSO PEREIRA**

**ILUMINAÇÃO PÚBLICA: efficientização das luminárias**

**Varginha - MG**

**2021**

**LUANA MUSSO PEREIRA**

**ILUMINAÇÃO PÚBLICA: efficientização das luminárias**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Eng. Diogo Borges Bernardes e coorientação do Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni.

**Varginha - MG**

**2021**

**LUANA MUSSO PEREIRA**

**ILUMINAÇÃO PÚBLICA: eficiência das luminárias**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas - MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em    /    /

---

Orientador: Eng. Diogo Borges Bernardes

---

Coorientador: Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni

---

Professor: Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni

OBS.:

Dedico este trabalho à minha mãe, Valéria de Fátima Musso, que não poupou esforços todos os anos para que eu estivesse concluindo esta etapa com êxito, toda a minha honra e gratidão.

Ao meu irmão Davi Musso Moreira, que esteve presente em todos estes anos com amor ao meu lado.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar graça para chegar até aqui.

Ao meu orientador e coorientador, Diogo Borges Bernardes e Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni, pela presteza e atenção nos momentos de dúvida.

A minha amiga, Julia Eduarda Silva Miranda, sem a sua ajuda não estaria concluindo esta etapa.

Aos demais professores e amigos que contribuíram diretamente para o meu crescimento e formação.

Aos meus irmãos na fé, que são muitos, por todas as palavras de encorajamento.

Ao meu noivo, por todos os momentos que estive e continua ao meu lado.

“ Porque, agora, vemos por espelho em enigma; mas, então, veremos face a face; agora, conheço em parte, mas, então, conhecerei como também sou conhecido. ”

1 Coríntios 13:12

## RESUMO

Este trabalho trata da efficientização das luminárias na iluminação pública, isto é, troca das luminárias, ressaltando especificamente no custo benefício das lâmpadas *LED's* em comparação às lâmpadas que estão em uso atualmente. Abordando inicialmente um panorama sobre iluminação pública no Brasil e partindo para conceitos de iluminação, luminotécnica e os tipos de lâmpadas mais usadas. Ao apresentar evidências energéticas, luminosa e custo benefício sobre a efficientização das luminárias de iluminação pública através da lâmpada *LED* em comparação com lâmpadas como vapor de mercúrio, vapor de iodetos metálicos e mista, será comprovado posteriormente com um projeto da cidade de Varginha-MG, que já está 90% concluído, que a tecnologia *LED* é a melhor solução para a iluminação pública, visando baixo consumo de energia, iluminância e vida útil maior em comparação com outras em uso, tendo em vista que é de responsabilidade do município a gestão do parque de iluminação da cidade para que ocorra esta inovação tecnológica.

**Palavras-chave:** Efficientização das luminárias. *LED*. Iluminação Pública.

## **ABSTRACT**

*This work deals with the efficiency of the luminaires in public lighting, i.e., changing the luminaires, emphasizing specifically the cost benefits of LED lamps compared to the lamps that are currently in use. Initially approaching a panorama of public lighting in Brazil and moving on to concepts of lighting, luminotechnics and the types of lamps most commonly used. By presenting energetic, luminous and cost-benefit evidence about the efficiency of the luminaries of public lighting through the LED lamp in comparison with lamps such as mercury vapor, metal halide vapor and mixed lamps, it will be proven later with a project of the city of Varginha-MG, which is already 90% concluded, that the LED technology is the best solution for public lighting, aiming low energy consumption, illuminance and longer useful life in comparison with others in use, bearing in mind that it is the responsibility of the municipality the management of the lighting park of the city so that this technological innovation occurs.*

**Keywords:** *Eficientização das luminarias. LED. Iluminação Pública.*

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 01 - Ponto de Entrega.....                             | 14 |
| Figura 02 - Configuração da Rede de Baixa Tensão.....         | 15 |
| Figura 03 - Desenho Ilustrativo: Rede de Distribuição.....    | 15 |
| Figura 04 - Relé Fotoelétrico.....                            | 16 |
| Figura 05 - Reator.....                                       | 17 |
| Figura 06 - Luminária.....                                    | 18 |
| Figura 07 - Espectro de Ondas Eletromagnéticas.....           | 19 |
| Figura 08 - Fluxo Luminoso.....                               | 20 |
| Figura 09 - Intensidade Luminosa.....                         | 20 |
| Figura 10 - Iluminância.....                                  | 21 |
| Figura 11 - Luminância.....                                   | 21 |
| Figura 12 - Conceitos Básicos de Iluminação.....              | 22 |
| Figura 13 - Componentes de uma Lâmpada Vapor de Mercúrio..... | 24 |
| Figura 14 - Lâmpada a Vapor de Sódio.....                     | 24 |
| Figura 15 - Componentes Lâmpada Mista.....                    | 25 |
| Figura 16 - Características LED.....                          | 26 |
| Figura 17 - Lâmpadas Diversas LED.....                        | 26 |
| Figura 18 - Localização Geográfica.....                       | 30 |
| Figura 19 - Localização Geográfica por Satélite.....          | 30 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                      | <b>11</b> |
| <b>2 ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL .....</b>                    | <b>12</b> |
| <b>3 COMPONENTES DE UM CIRCUITO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....</b> | <b>14</b> |
| <b>3.1 Rede de Distribuição da Concessionária .....</b>        | <b>15</b> |
| <b>3.2 Braço de Sustentação da Luminária .....</b>             | <b>15</b> |
| <b>3.3 Relé Fotoelétrico .....</b>                             | <b>16</b> |
| <b>3.4 Reator .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>3.5 Luminária.....</b>                                      | <b>17</b> |
| <b>3.6 Lâmpada.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>4 LUMINOTÉCNICA.....</b>                                    | <b>19</b> |
| <b>4.1 Conceitos e Grandezas Fundamentais.....</b>             | <b>20</b> |
| 4.1.1 Fluxo Luminoso ( $\Phi$ ).....                           | 20        |
| 4.1.2 Intensidade Luminosa ( $I$ ).....                        | 20        |
| 4.1.3 Iluminância ( $E$ ).....                                 | 21        |
| 4.1.4 Luminância ( $L$ ).....                                  | 21        |
| <b>5 LÂMPADAS .....</b>  | <b>23</b> |
| <b>5.1 Lâmpadas de Descarga de Alta Pressão .....</b>          | <b>23</b> |
| 5.1.1 Lâmpada de Vapor de Mercúrio .....                       | 23        |
| 5.1.2 Lâmpada de Vapor de Sódio .....                          | 24        |
| 5.1.3 Lâmpada Mista .....                                      | 25        |
| <b>5.2 Lâmpada LED (Light Emitting Diode) .....</b>            | <b>25</b> |
| <b>6 NORMAS .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>7 PROJETO LUMINOTÉCNICO.....</b>                            | <b>29</b> |
| <b>7.1 RUA MICHEL MANSUR .....</b>                             | <b>29</b> |
| 7.1.1 CONSUMO VAPOR DE SÓDIO 100 [Watts] .....                 | 30        |
| 7.1.2 CONSUMO <i>LED</i> 80 [Watts].....                       | 31        |
| 7.1.3 PAY BACK .....   | 31        |

**8 CONCLUSÃO.....33**

**REFERÊNCIAS .....34**

## 1 INTRODUÇÃO

A iluminação pública é um fator de suma importância para a vida dos cidadãos, seja para compor uma paisagem no centro da cidade com o objetivo de embelezamento da cidade ou a nível de segurança à noite, iluminando vias escuras e assim trazendo segurança para aqueles que utilizam estas vias para se locomover.

Sendo assim, é de extrema importância o uso correto das lâmpadas em vias públicas, pois com lâmpadas com baixa iluminação e na maioria das vezes um consumo elevado, o objetivo da iluminação pública não é atingido, pois não estão iluminando corretamente o que ocasiona em uma certa facilidade para a ocorrência de crimes, como, furto, violência, consumo de drogas e outras atividades que infringem a lei. Tendo em vista, o problema central abordado neste trabalho, o custo-benefício destas lâmpadas que estão em uso hoje em dia.

O uso do *LED* é a solução para estes problemas, pois seu altíssimo grau de luminosidade e seu baixo consumo produz uma iluminação satisfatória e entrega para os cidadãos uma certa segurança pela noite e também um consumo baixo para a prefeitura, levando em conta que de acordo com a Resolução nº 414/2010 feita pela ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, contida no artigo 218, fundamentada no artigo 30 da Constituição Federal, é de responsabilidade das prefeituras a gestão do parque de iluminação.

Através da efficientização das lâmpadas, ou seja, troca das lâmpadas atuais que em sua maioria são vapor de mercúrio, mistas e de iodetos metálicos por lâmpadas *LED* 's, as cidades serão mais iluminadas e com um menor consumo de energia.

No próximo capítulo um breve resumo da iluminação pública no Brasil para darmos início na fundamentação do tema que será abordado mais profundamente no decorrer do trabalho.

## 2 ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL

A iluminação pública no Brasil no século XIX era feita através de lâmpadas de óleo de baleia, posteriormente no ano de 1854, a cidade de São Paulo implantou a iluminação a gás, que eram os lampiões. Em de 1883, na cidade de Campos, no estado do Rio de Janeiro, foi a primeira cidade brasileira a ter luz elétrica nas ruas, por conta de uma usina termelétrica (LIMA,GOUVEIA,2019)

A inserção da luz elétrica nas vias públicas não trocou os lampiões a gás totalmente, a modernização foi acontecendo aos poucos, podendo haver lampiões e luz elétrica juntos por um período de tempo ainda.

Por outro lado, no exterior, em 1762, Nova Iorque já tinha projetos para as lâmpadas elétricas de arco para financiar a instalação de lampiões, o consumo de óleo e as pessoas que faziam o serviço. Em 1879, doze lâmpadas foram instaladas na *Public Square*, em Cleveland, EUA, para iluminar ruas públicas. Somente no século XX a total substituição para luz elétrica era de fato confiável sem a necessidade de retaguarda (SANTANA,2010).

Em 1800, as primeiras lâmpadas elétricas começaram a ter estudos de desenvolvimento, 79 anos depois, Thomas Edison inventou a lâmpada com filamento incandescente. Posteriormente esta invenção se tornaria a única tecnologia elétrica a ser utilizada durante 56 anos, de 1879 até 1935 (SANTANA,2010) .

Na primeira década do século XX, as lâmpadas de descarga em atmosfera de gás, começavam a ser estudadas, abrangendo as lâmpadas de vapor de mercúrio, a altas e baixas pressões, e as lâmpadas de vapor de sódio, a altas e baixas pressões. A primeira utilização destas lâmpadas foi feita na década de 30, na década de 60 as lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão e a multivapores metálicos obteriam espaço crescente na utilização nas vias públicas (SANTANA,2010).

A nível energético, se iniciou com os lampiões a óleo vegetal, animal ou mineral, seguindo a querosene e o gás, logo após a tecnologia das lâmpadas elétricas, a energia elétrica tornou-se a fonte confiável para a alimentação das lâmpadas na iluminação pública.

O mercado de energia elétrica no Brasil começou no século XX com as primeiras companhias de geração e distribuição de energia do país, boa parte destas companhias eram de origem estrangeira e a maioria destas empresas faziam contratos de venda de energia diretamente com os municípios (SANTANA,2010). Contudo, a crescente demanda de fornecimento de energia elétrica fez com que a sua concessão passasse a ser exclusivamente

federal, fazendo com que os municípios se responsabilizassem pela prestação de serviço de iluminação pública.

Segundo Santana (2010) em 1921 a empresa *General Electric Company* (GE), monta a primeira fábrica de lâmpadas e a primeira fábrica de produtos elétricos no Brasil, já em 1929, eles inauguram a fábricas de medidores de energia elétrica, em 1930 a fábrica de transformadores de distribuição, em 1936 a fábrica de transformadores de força, em 1938 a produção automáticas de bulbos de vidro, em 1965 lâmpadas a vapor de mercúrio e em 1978 a lâmpada vapor de sódio em alta pressão, dentre outras fábricas de produtos elétricos.

Segundo Ferreira (2009) nas linhas de iluminação, a GE expandia sua produção para a fabricação de lâmpadas fluorescentes e seu equipamento auxiliar (starters e reatores), lâmpada mista, vapor de mercúrio e vapor de sódio em alta pressão. Necessitando de luminárias para a aplicação de tais produtos e não dispoendo de equipamento adequado à produção em pequena escala voltada para o mercado nacional, a GE utilizou a estratégia de desenhar produtos de pequeno porte para tais tarefas. Para isso, forneceu desenhos e supervisionou o seu desenvolvimento com processos reproduzidos de projetos americanos. Surgiram, assim, fabricantes nacionais para luminárias de iluminação pública, lâmpadas fluorescentes e vapor de mercúrio, além de refletores e projetores.

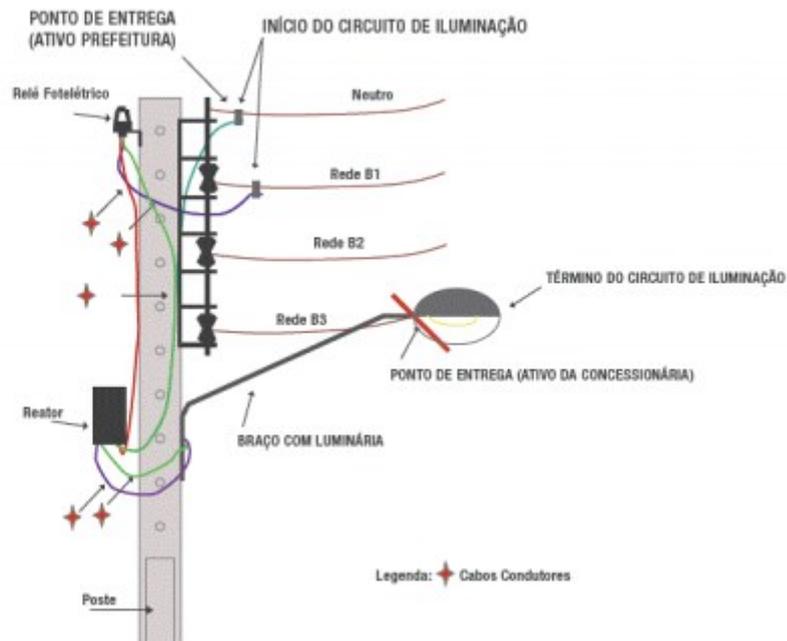
A tecnologia de iluminação pública começou a crescer no Brasil, ainda que com passos lentos estava caminhando, e isto levou ao ordenamento do espaço urbano e a implantação de serviços e equipamentos objetivando a qualidade de vida da população, e ainda o embelezamento urbano, favorecendo o turismo, comércio, esporte e lazer noturnos, transformando o cotidiano das pessoas, que passam a ter uma vida noturna com mais segurança, em detrimento dos séculos anteriores (SANTANA 2010).

Depois de tantos avanços tecnológicos, os componentes de um circuito de iluminação pública nos dias de hoje serão discutidos no próximo capítulo.

### 3 COMPONENTES DE UM CIRCUITO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Segundo Santana (2010), no Brasil, a partir da rede da concessionária de energia elétrica, existem duas configurações para os sistemas de Iluminação Pública: o que alimenta a rede de Iluminação Pública em baixa tensão e o que alimenta a rede em média tensão. Quando utilizada a alimentação em média tensão, o sistema pertence ao município desde o ponto de entrega de energia, exigindo, portanto, uma rede secundária exclusiva para a IP. Quando utilizada a alimentação em baixa tensão, o sistema pertence ao município desde o ponto de entrega de energia a partir do ponto de conexão do braço da luminária com a rede de energia elétrica ou no bulbo da lâmpada.

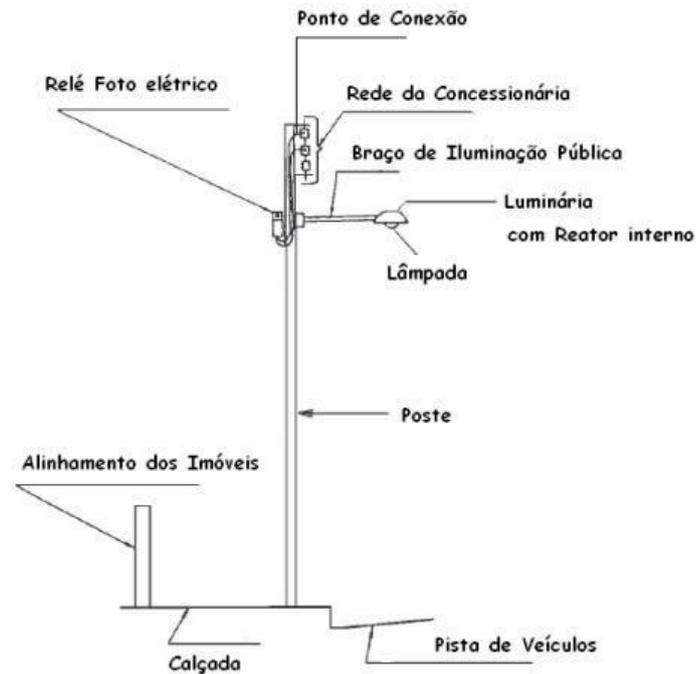
Figura 01 - Ponto de Entrega



Fonte: CEPAM,2013

Portanto, o sistema de iluminação pública é formado pela rede de distribuição da concessionária, condutores, eletrodutos, braços de sustentação da luminária, reatores, relés, lâmpadas, luminárias, postes e circuitos, conforme Figura 01 e 02.

Figura 02 - Configuração da Rede de Baixa Tensão

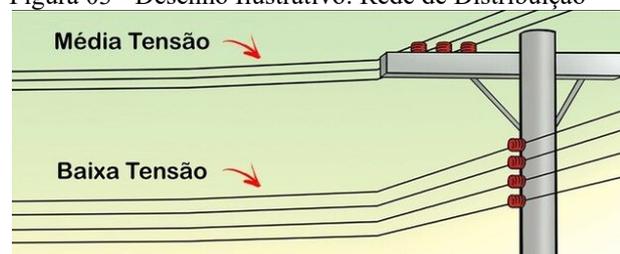


Fonte: SANTANA,2010

### 3.1 Rede de Distribuição da Concessionária

A rede de distribuição de energia elétrica pertence à concessionária de energia elétrica e tem a função de transportar a energia elétrica para as diferentes regiões da cidade. Opera na maioria das redes existentes, em sistema trifásico com tensões: na rede primária, média tensão, de 13,2 kV e na rede secundária, baixa tensão, em 220/127 V, conforme Figura 03.

Figura 03 - Desenho Ilustrativo: Rede de Distribuição



Fonte: Mundo da Elétrica,2020

### 3.2 Braço de Sustentação da Luminária

Os braços são usados na iluminação pública para que a luminária seja projetada um pouco à frente do poste, de modo que a luz seja mais bem distribuída. Caso os braços não

fossem utilizados, como era feito antigamente, grande parte da luz emitida pela lâmpada seria desperdiçada iluminando a face do poste. Os braços podem ser fixados nos postes de duas maneiras, dependendo do tipo de poste. Se o poste for circular, a fixação é feita através de uma cinta metálica que fica abraçada ao poste. Para postes em formato quadrado, a fixação é feita através de parafusos e outras ferragens. Há também luminárias que são instaladas diretamente nos postes, não necessitando de braços.

Para saber o comprimento ideal e inclinação dos braços, devem-se seguir as normas da ABNT. A norma de distribuição de iluminação pública da concessionária Cemig, os normatiza em função do tipo de vias e sua importância, bem como no seu comprimento (AMORIM, 2011).

### 3.3 Relé Fotoelétrico

Os relés fotoelétricos, conforme Figura 04, são equipamentos de comando amplamente utilizados na iluminação pública. Eles têm o objetivo de ligar as lâmpadas no início da noite, quando a iluminância do ambiente estiver abaixo de 10 lux, e desligá-las ao amanhecer, quando a iluminância estiver acima deste valor. Para efeitos de cálculo de consumo de energia dos equipamentos de iluminação pública, visto que não são usados medidores para esta aplicação, considera-se que os relés passam 12 horas por dia fechados, conduzindo corrente, e 12 horas abertos. Para perfeito funcionamento no inverno e verão, devem ter o sensor voltado para o sul no momento da instalação. Os relés fotoelétricos podem ser usados para comando individual, ou seja, um relé para cada ponto luminoso, ou em grupo, quando um único relé é responsável pelo acionamento de diversas lâmpadas, caso comum em praças e áreas esportivas, onde cada relé fotoelétrico controla uma chave magnética. Essa por sua vez controla o restante da iluminação (BERNARDES, 2016).

Figura 04 - Relé Fotoelétrico



Fonte: Amorim,2010

### 3.4 Reator

Os reatores, conforme Figura 05, são utilizados para aumentar a tensão durante a ignição da lâmpada e limitar a intensidade da corrente elétrica, durante o funcionamento da lâmpada. Podem ser eletromagnéticos ou eletrônicos. Os reatores eletromagnéticos são constituídos de um núcleo de ferro, bobinas de cobre e capacitores para correção do fator de potência. Devido às suas características construtivas podem apresentar a emissão de ruído audível, efeito “flicker” e carga térmica elevada.

Os reatores eletrônicos são mais eficientes que os eletromagnéticos na conversão de potência elétrica em potência luminosa. No entanto, deve ser avaliada a qualidade do produto, principalmente no que diz respeito ao fator de potência. Para acionamento de lâmpadas de vapor de sódio (amplamente utilizado no sistema de iluminação pública) é empregado, além do reator, o componente denominado ignitor, que gera um pico de tensão nos eletrodos da lâmpada, desligando-se automaticamente após a partida (BARBOSA, SANTOS,2013).

Figura 05 - Reator



Fonte: Amorim,2010

### 3.5 Luminária

Outro equipamento que sempre está presente num ponto de iluminação pública é a luminária. Ela tem a função de abrigar a lâmpada, para protegê-la contra intempéries e vandalismo, como mostra a Figura 06. Também refletem a luz da lâmpada no sentido do solo, de modo a proporcionar maior luminosidade no ambiente onde estiver instalada. Existem vários fatores que devem ser considerados na especificação de uma luminária para iluminação pública. Dentre eles, os mais importantes são: corpo refletor, porta-lâmpada, fechamento, alojamento para equipamentos auxiliares e tomada para relé (AMORIM, 2011).

Figura 06 - Luminária



Fonte: Eletropolo,2020

### 3.6 Lâmpada

Constituem um dos mais importantes componentes do sistema de iluminação. A escolha correta pode atribuir, além de conforto visual, economia de energia elétrica. A eficiência luminosa, o índice de reprodução de cores e a vida útil são os aspectos que mais contribuem para a eficiência energética de um sistema de iluminação, seja na elaboração de projetos, reformas ou na implantação de programas de conservação e uso eficiente de energia (AMORIM, 2011).

Com os conteúdos firmados sobre os componentes de um circuito de iluminação pública, será discutido no capítulo seguinte sobre os conceitos de luminotécnicas para a melhor compreensão sobre a ideia central deste trabalho.

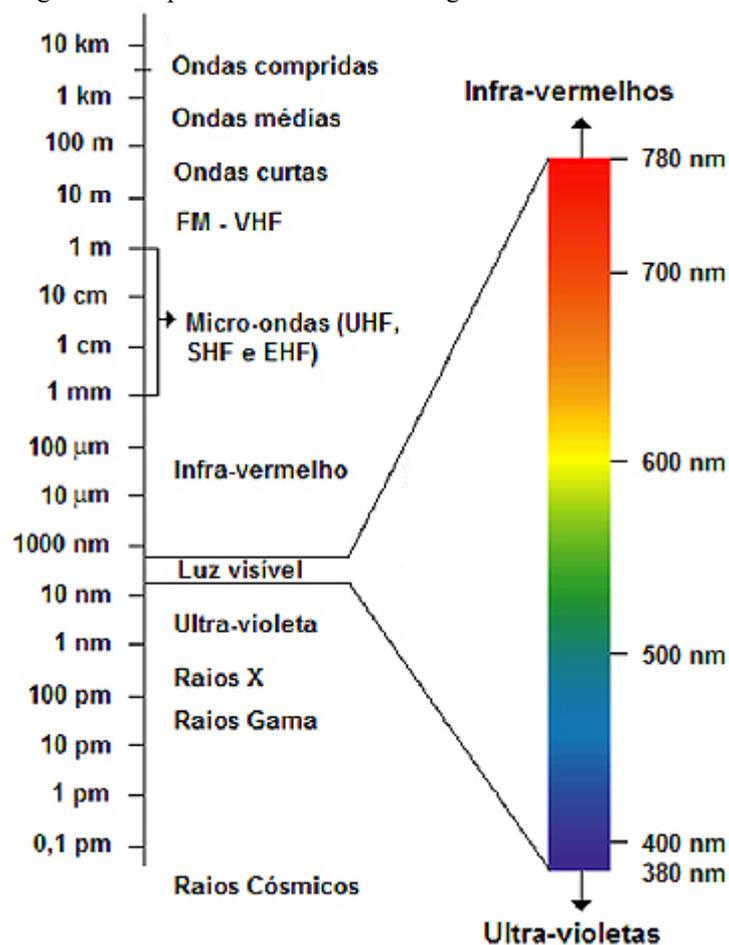
## 4 LUMINOTÉCNICA

Antes de entrarmos nos conceitos luminotécnicos precisamos aprender alguns ensinamentos básicos.

A luz é uma radiação eletromagnética contida entre os comprimentos de onda de 380 a 760 nanômetros ( $1 \text{ nanômetro} = 10^{-9}$ ), que são detectadas pelo olho humano produzindo sensações visual de claridade.

O espectro eletromagnético visível está limitado, em um dos extremos pelas radiações infravermelhas, de maior comprimento de onda, e no outro, pelas radiações ultravioletas, de menor comprimento de onda, conforme Figura 07 (LUZ,2019).

Figura 07 - Espectro de Ondas Eletromagnéticas



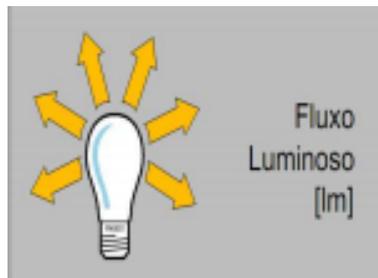
Fonte: Luz,2019

## 4.1 Conceitos e Grandezas Fundamentais

### 4.1.1 Fluxo Luminoso ( $\Phi$ )

É a quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lúmen, na tensão nominal de funcionamento, como a Figura 08 representa. A radiação total da fonte luminosa situa-se entre os limites de comprimento de onda de 380 a 780 nanômetros. A unidade em *SI* para o fluxo luminoso é o lúmen (SILVA,2013).

Figura 08 - Fluxo Luminoso

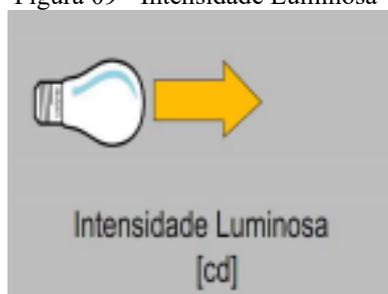


Fonte: Minolta,2002

### 4.1.2 Intensidade Luminosa ( $I$ )

É o fluxo luminoso compreendido na unidade de ângulo sólido, como na Figura 09, no qual é emitido, pressupondo-se que a fonte luminosa é pontual. A intensidade luminosa é medida na unidade *SI* de candela (SILVA,2013).

Figura 09 - Intensidade Luminosa

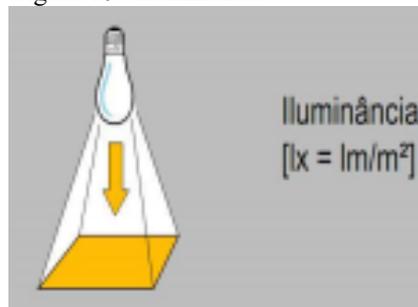


Fonte: Minolta,2002

### 4.1.3 Iluminância ( $E$ )

É o fluxo luminoso, conforme Figura 10, recebido por unidade de área iluminada sendo expressa na unidade *SI lux*. Por outras palavras, é a quantidade de luz dentro de um ambiente, sendo habitualmente utilizado um luxímetro para efetuar a sua medição. É importante referir a consideração da iluminância média uma vez que o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente o que implica variações nos valores de iluminância para diferentes pontos da área em questão (SILVA,2013).

Figura 10 - Iluminância

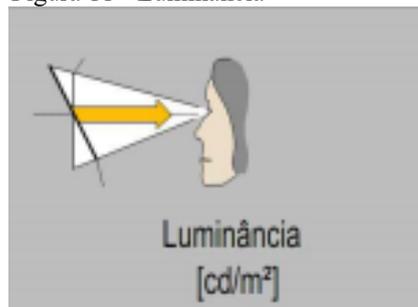


Fonte: Minolta,2002

### 4.1.4 Luminância ( $L$ )

Refere-se à intensidade irradiada por uma unidade de superfície aparente, como representada na Figura 11, sendo a sua unidade *SI a candela* por metro quadrado. Facilmente se entende o que representa a luminância se pensarmos nesta como sendo a sensação de claridade proveniente da incidência de uma fonte luminosa numa determinada superfície (SILVA,2013).

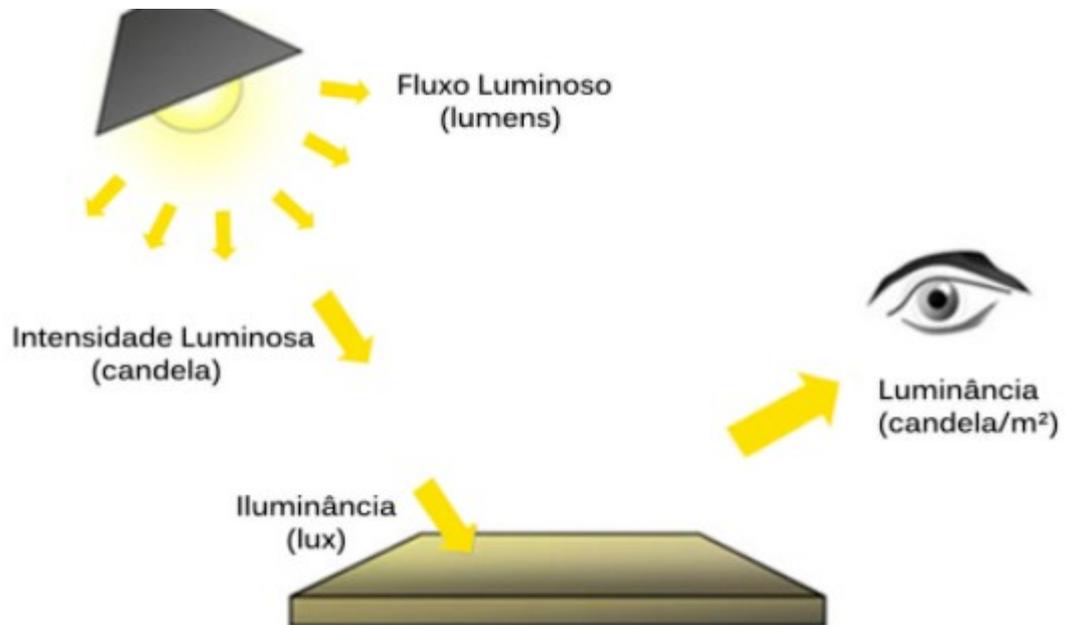
Figura 11 - Luminância



Fonte: Minolta,2002

Na Figura 12, observa-se todos estes conceitos que foram apresentados anteriormente, para a maior compreensão na prática de como eles funcionam em um ambiente:

Figura 12 - Conceitos Básicos de Iluminação



Fonte: Grado Iluminação,2021

Portanto, em um espaço, esses efeitos se relacionam juntos produzindo aos olhos uma intensidade luminosa perceptível, pois ao acender uma lâmpada, ela irá produzir uma quantidade de luz, que formará um ângulo com a superfície do ambiente e assim uma área iluminada irá se formar fazendo com que os olhos recebam toda a iluminação do local.

## 5 LÂMPADAS

### 5.1 Lâmpadas de Descarga de Alta Pressão

Segundo Silva (2013), nas lâmpadas de descarga utiliza-se um meio gasoso para que seja possível existir condução de corrente elétrica. Neste caso, para as lâmpadas de descarga de alta pressão, o gás utilizado está a uma pressão superior à pressão atmosférica. Sendo assim, quando o gás se encontra a uma pressão equivalente a três ou quatro atmosferas podemos afirmar que a lâmpada de descarga trabalha em alta pressão.

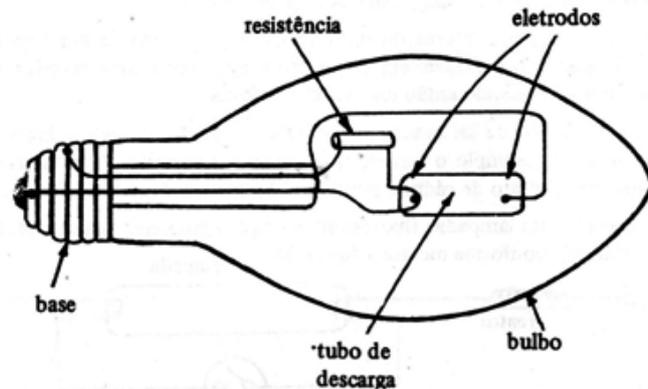
As lâmpadas de descarga de alta pressão são caracterizadas por uma eficiência luminosa elevada e também por uma longa vida útil. Este tipo de lâmpada emite uma luz extremamente brilhante sendo por isso muito utilizada em espaços comerciais, estádios, iluminação exterior, entre outros. As lâmpadas de descarga mais modernas, além de uma vida útil elevada, apresentam também um bom rendimento de cor e, como são lâmpadas com um tamanho bastante reduzido, é possível um maior controle da iluminação, com uma fácil disposição e orientação.

#### 5.1.1 Lâmpada de Vapor de Mercúrio

O vapor de mercúrio foi utilizado durante muitos anos como única fonte de descarga para as lâmpadas de descarga. O mercúrio à temperatura ambiente é líquido, e por isso é adicionada uma pequena quantidade de argon, um gás de vaporização mais fácil, para facilitar o arranque. É utilizado também um gás inerte para estabilizar a lâmpada, mantendo a temperatura constante para diferentes condições ambientais. Existe um eletrodo em cada extremidade do tubo como pode ser visto na Figura 13.

Estes tipos de lâmpadas podem apresentar um rendimento luminoso que pode variar entre 36  $lm/W$  (lúmen por Watt) a 60  $lm/W$  (lúmen por Watt). O tipo de luz emitida é de cor branca azulada. Como grande parte da radiação emitida se encontra na zona do ultravioleta, é usada uma camada fina de pó fluorescente na superfície interna do invólucro exterior, sendo assim possível converter parte da radiação ultravioleta em radiações visíveis (SILVA,2013).

Figura 13 - Componentes de uma Lâmpada Vapor de Mercúrio



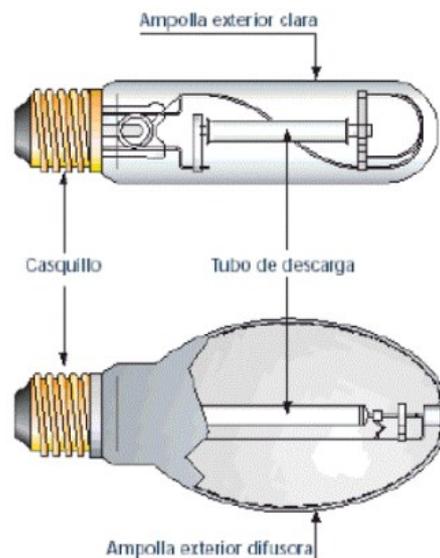
Fonte: Instituto Newton Braga, 2021

### 5.1.2 Lâmpada de Vapor de Sódio

Segundo Bernardes (2016), as lâmpadas a vapor de sódio, tem uma elevada eficiência luminosa até 140 lm/W, longa durabilidade e, conseqüentemente, longos intervalos para reposição, são sem dúvida a garantia da mais econômica fonte de luz. Estas lâmpadas diferem pela emissão de luz branca e dourada, indicada para iluminação de locais onde a reprodução de cor não é um fator importante.

Amplamente utilizadas na iluminação pública, em avenidas, autoestrada, viadutos, complexos viários etc., têm o seu uso ampliado para áreas industriais, siderúrgicas e ainda para locais específicos como aeroportos, estaleiros, portos, ferrovias, pátios e estacionamentos (AMORIM, 2011).

Figura 14 - Lâmpada a Vapor de Sódio



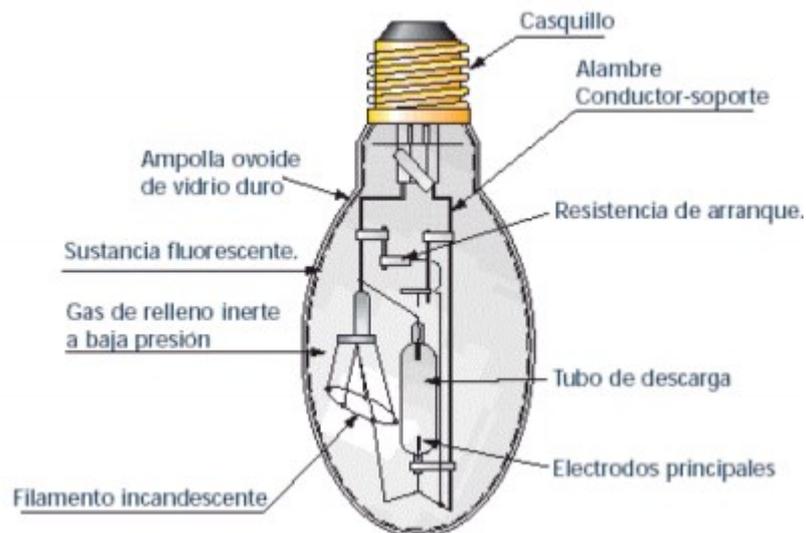
Fonte: Amorim, 2011

### 5.1.3 Lâmpada Mista

São lâmpadas compostas de um filamento ligado em série com um tubo de descarga, que funcionam em tensão de rede 230V, sem uso de reatância. O filamento de tungstênio vem também substituir o reator na limitação da corrente em funcionamento normal.

São, via de regra, alternativas de maior eficiência para substituição de lâmpadas de incandescência de altas potências. Possui IRC 61 a IRC 63 conforme modelo, cor amarela e eficiência luminosa até  $22 \text{ lm/W}$ . Esta lâmpada comparada à de incandescência é mais cara, tem uma eficiência luminosa um pouco mais elevada, um espectro luminoso mais equilibrado e vida útil cerca de cinco vezes maior. É utilizada frequentemente em iluminação interior, em substituição da lâmpada de incandescência (BERNARDES,2016).

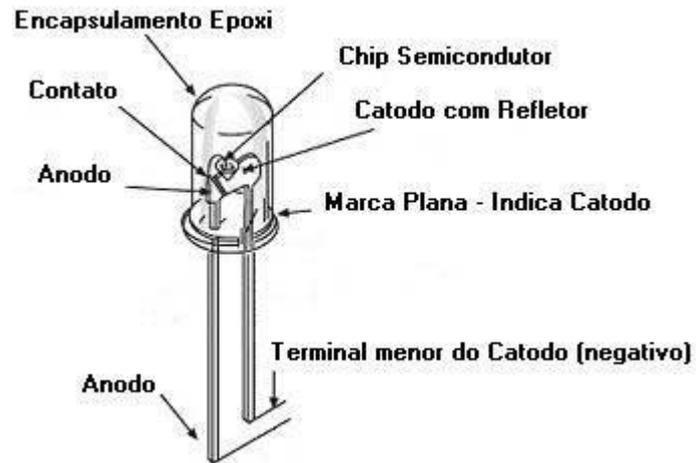
Figura 15 - Componentes Lâmpada Mista



Fonte: Amorim,2011

### 5.2 Lâmpada LED (Light Emitting Diode)

Segundo Silva (2013), o funcionamento de um *LED* (Diodo Emissor de Luz) é baseado na emissão de luz, por eletroluminescência, através de um díodo semicondutor. É usualmente uma fonte de luz com uma pequena área onde se aplica uma lente para projetar a luz emitida. A cor da luz emitida pode variar conforme o tipo de material semicondutor utilizado, podendo ser infravermelha, visível ou até ultravioleta.

Figura 16 - Características *LED*

Fonte: Mundo da Elétrica,2020

A combinação de *LED*'s vermelhos, verdes e azuis permite produzir uma luz de cor branca, no entanto, existe atualmente um *LED* branco. O princípio de funcionamento do *LED* branco é similar ao utilizado nas lâmpadas fluorescentes: quando é depositado fósforo no material semicondutor de um *LED* ultravioleta a conversão de luz ultravioleta é realizada para luz branca.

A simplicidade da tecnologia *LED* permite uma grande versatilidade. Durante os últimos anos foram desenvolvidas inúmeras soluções que permitem comercializar esta tecnologia com vários tipos de configurações, permitindo assim competir com todos os tipos de lâmpadas. Na Figura 17 são apresentados vários tipos de configurações de lâmpadas *LED* com casquilhos de diferentes tipos e dimensões.

Figura 17 - Lâmpadas Diversas *LED*

Fonte: Philips,2021

As lâmpadas *LED* possuem um elevado rendimento luminoso, podendo emitir luz de variadas cores, sem necessidade de recorrer a filtros específicos. Podem ser desenhadas de forma a focar a luz emitida sem recorrer a refletores externos. Quando são utilizadas com regulagem de fluxo, a sua tonalidade de cor não se modifica. Este tipo de lâmpadas apresenta uma longa duração de vida e, como foi mencionado anteriormente, existem diferentes

soluções de configurações permitindo assim substituir outros tipos de lâmpadas pouco eficientes, sem necessidade de alterar as luminárias ou utilizar aparelhos auxiliares.

No entanto, visto que a tecnologia utilizada ainda é bastante recente, o seu preço é um pouco elevado. Em casos de consumos energéticos elevados, onde são utilizadas soluções pouco eficientes, o preço elevado das lâmpadas *LED* não é limitativo uma vez que a poupança energética alcançada após a substituição por lâmpadas *LED* é vantajosa a longo prazo.

## 6 NORMAS

Considerando, pela lei, que a iluminação pública é um serviço público de interesse local, os limites adequados de continuidade e qualidade de energia até o ponto de entrega ficam submetidos à legislação federal, e assim, obedecendo regras definidas pelo Governo Federal – Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Em 9 de setembro de 2010, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) publicou a Resolução Normativa nº 414 que “estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada”. Entre as proposições do documento, há o artigo 218, o artigo institui que a distribuidora deve transferir o sistema de iluminação pública registrado como Ativo Imobilizado em Serviço (AIS) à pessoa jurídica de direito público competente. Em outras palavras, os municípios devem se tornar responsáveis pelo serviço de iluminação pública, ou seja, realizar, entre outras atividades, a operação e a reposição de lâmpadas, de suportes e chaves, além da troca de luminárias, reatores, relés, cabos condutores, braços e materiais de fixação.

Essa decisão fundamenta-se no Art. 30 da Constituição Federal, no Parecer 765/2008 da Procuradoria Federal da Aneel, nas Audiências Públicas 008/2008 e 49/2011 e na Consulta Pública 002/2009.

Diante disso, a problematização que está em questão sendo analisada é a falta de gestão dos municípios em vigor desta nova resolução, pois não há um conhecimento prévio dos indivíduos que estão a frente deste trabalho dentro das prefeituras, portanto a efficientização energética não só é um ponto que já está sendo notado em algumas vias hoje, mas em um futuro ser totalmente transformado tendo em vista todas as vantagens desta nova tecnologia, os *LED's*.

Segundo a norma 3.4 da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais S.A.) em suas dispensações há em todos os aspectos diretrizes para estabelecer os critérios básicos para iluminação pública, a fim de sustentar as condições técnicas e econômicas a nível básico para a iluminação de vias e praças públicas.

## **7 PROJETO LUMINOTÉCNICO**

A escassez de energia que estamos vivendo atualmente nos leva a pensar em maneiras de se economizar energia ou de ter uma iluminação mais eficiente gastando-se menos, portanto, a eficientização das lâmpadas para luminária pode ser uma resposta a estes questionamentos, visto que, são válidos e de interesse da população de cada município essa melhora na iluminação pública.

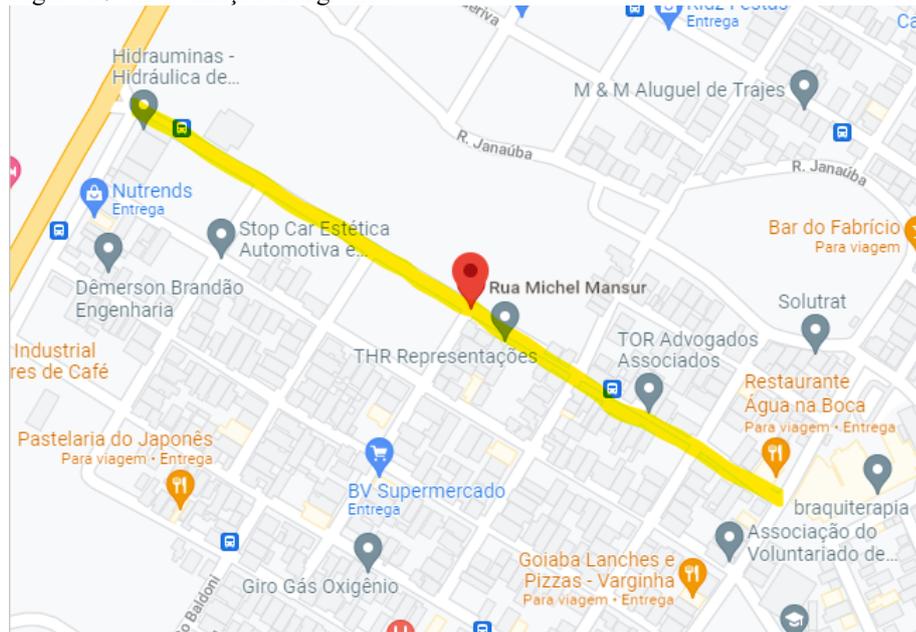
O trabalho da prefeitura é entregar uma boa gestão da cidade, sendo de interessa da mesma, uma iluminação adequada de acordo com cada via e sua finalidade na cidade para os seus cidadãos, como um parque luminotécnico bem gerenciado pelos seus funcionários.

Pois bem, a Prefeitura Municipal de Varginha-MG juntamente com a Phillips fizera um projeto de eficientização das lâmpadas de vapor de sódio e vapor de mercúrio para luminárias *LED* em várias vias da cidade.

### **7.1 RUA MICHEL MANSUR**

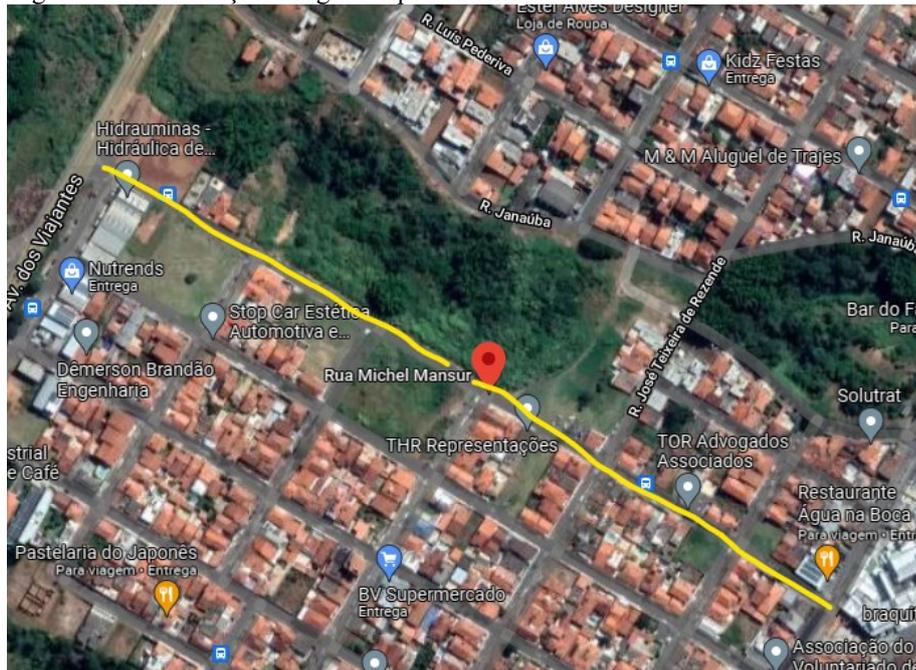
No Bairro Parque Boa Vista, Rua Michel Mansur, como mostra a Figura 18 e 19, com um perfil de rua de 9 metros de largura com duas faixas de rodagem e com largura de passeio de 1,5 metros de cada lado, houve a eficientização das lâmpadas convencionais para luminárias *LED*, trocou-se 17 lâmpadas de vapor de sódio de 100[Watts] por luminárias *LED* de 80[Watts].

Figura 18 - Localização Geográfica



Fonte: Google Maps,2021

Figura 19 - Localização Geográfica por Satélite



Fonte: Google Maps,2021

### 7.1.1 CONSUMO VAPOR DE SÓDIO 100 [Watts]

A lâmpada de vapor de sódio consome em um período de 12 horas/dia uma média de 1.700[Watts] de potência, com base no valor da bandeira verde podemos observar que:

Potência = 1,7 [Kw]

Kwh [Kilo Watt Hora] = R\$ 0,71075

Tempo de consumo = 12 horas/dia => 360 horas/mês

P x Kwh x T.C. = R\$ 434,979 por mês

### 7.1.2 CONSUMO LED 80 [Watts]

A luminária *LED* consome em um período de 12 horas/dia uma média de 960 [Watts] de potência, com base o valor da bandeira verde podemos observar que:

Potência = 0,96 [Kw]

Kwh [Kilo Watt Hora] = R\$ 0,71075

Tempo de consumo = 12 horas/dia => 360 horas/mês

P x Kwh x T.C. = R\$ 245,635 por mês

### 7.1.3 PAY BACK

O valor de investimento em uma luminária *LED* de 80 [Watts] é de R\$ 218,88, portanto gastou-se com luminárias *LED* nesta rua o valor de R\$ 3.720,96. Em vista que a diferença de consumo do *LED* e da lâmpada de vapor de sódio é de R\$ 189,344 por mês, podemos estimar que:

- Consumo em um ano antes da eficientização: R\$ 5.219,74
- Consumo em ano após eficientização: R\$ 2.947,62
- Valor investido para a eficientização: R\$ 3.720,96 Luminárias  
+ R\$ 1.000,00 Mão de obra  
R\$ 4.720,96

O *pay back*, um indicador do tempo de retorno de um investimento, faz-se da seguinte maneira:

$$PB = \frac{\text{Valor do investimento}}{\text{Valor da economia mensal}} \Rightarrow \frac{R\$ 4.720,960}{R\$ 189,34} \Rightarrow 24,94 \text{ meses}$$

Ou seja, o tempo que o investimento na eficientização das lâmpadas na Rua Michel Mansur na cidade de Varginha-MG retornará para a prefeitura será de aproximadamente 2 anos.

O projeto luminotécnico que a Prefeitura Municipal de Varginha concluiu na cidade foi feito com todas as exigências da NBR 5101, que é a norma que estabelece os requisitos mínimos necessários para a iluminação de vias públicas, então as novas tecnologias de

iluminação devem atender às normas técnicas e contribuir, de fato, para a melhoria da qualidade de iluminação e redução de custos.

A efficientização foi feita em 18.000 lâmpadas que eram de vapor de sódio e vapor de mercúrio com as potências de 70 [Watts], 100 [Watts], 150 [Watts], 250 [Watts], 360 [Watts], 400 [Watts], e como são lâmpadas é importante ressaltar mais os 15% do reator que também foi retirado, para as luminárias *LED* da Phillips com as potências de 57 [Watts], 80 [Watts], 120 [Watts], 135 [Watts].

O projeto concluído mostrou que houve uma redução de potência em 53% com uma economia de 250.000 Watts Horas por mês, com um investimento de 14 milhões de reais, a prefeitura projetou uma economia de 50% com uma taxa de retorno em 4 anos, que seria um consumo de aproximadamente 4.000 residências ou uma empresa de grande porte, segundo o coordenador do projeto, Pedro Gazzola.

## 8 CONCLUSÃO

A iluminação pública é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos e para os cidadãos, pois além de estar diretamente ligada à segurança pública no tráfego, previne a criminalidade possibilitando a ampliação do monitoramento eletrônico em áreas de risco e violência.

Uma iluminação adequada de acordo com as necessidades de cada via urbana atendida é de extrema importância para os seus cidadãos, dito isto, a eficiência das lâmpadas usuais pela tecnologia *LED* é a grande resposta para esta reforma no parque luminotécnico entregando assim uma boa gestão pública da parte da prefeitura.

Tendo em vista, que um investimento financeiro deste porte por parte da prefeitura, que é a gestora do parque luminotécnico, trarão retornos a curto e médio prazo, que é de proveito para o município economicamente, pois não só o baixo consumo de energia resultando na baixa da fatura, mais a iluminância e vida útil dos *LED's* comparado com as lâmpadas atuais.

Para a comprovação desta solução o projeto que a Prefeitura Municipal de Varginha disponibilizou e foi apresentado no decorrer deste trabalho, mostrou que de fato, precisa de um bom planejamento financeiro, mas em contrapartida, o investimento em eficiência energética é rápido em sanar os problemas com baixa iluminação e alto consumo nas vias, pois o *LED* é exatamente o contrário e comprovando também um *pay back* de curto e médio prazo.

Portanto, as prefeituras podem realizar estudos para a melhoria da iluminação das vias em suas cidades, visando não só o custo, mas também uma cidade segura e mais agradável a noite para os seus cidadãos.

Para um próximo trabalho, além das tecnologias das luminárias *LED's*, que estão em constante atualização, também um estudo sobre os postes inteligentes ou multifuncionais, já são pauta no quesito de iluminação em alguns centros modernos pelo mundo. Cidades mais inteligentes é o novo objetivo de alguns países e estes postes fazem parte deste novo empreendimento, pois estes postes podem melhorar o gerenciamento de tráfego e estacionamentos através de dados em tempo real, pois terão conexões *Wi-fi*, além de também serem projetados para equipamentos de segurança, sinalização das ruas, conexões para tomadas elétricas, estações de carregamento para veículos elétricos, semáforos e outros adendos tecnológicos que poderão enriquecer esta pesquisa futuramente.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, Leonardo Gomes de Paiva. – Dissertação de mestrado apresentado ao programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica e Computação– **Utilização de sistemas dedicados e protocolos de redes aplicados a eficiência da iluminação pública** – UFRN Natal –RN, 2011. Disponível em:

[http://www.natal.rn.gov.br/bvn/publicacoes/Leonardo\\_GPA DISSERT.pdf](http://www.natal.rn.gov.br/bvn/publicacoes/Leonardo_GPA DISSERT.pdf) Acesso em: 31 maio 2021.

BARBOSA, Fábio. V.; SANTOS, Regis. S. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Cidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia - **GESTÃO REMOTA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**.

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em:

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgP-AAD/gestao-remota-iluminacao-publica-tccfinal> Acesso em 31 maio 2021.

BERNARDES, Diogo. – Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário do Sul de Minas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia - **ILUMINAÇÃO PÚBLICA: a busca por um modelo de gestão eficiente**. UNIS, Varginha, 2016. Disponível em:

<http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/716/1/TCC%20-%20DIOGO%20BORGES%20BERNARDES.pdf> Acesso em 24 maio 2021

FERREIRA, M. M. **A evolução da iluminação na cidade do Rio de Janeiro: contribuições tecnológicas**. 1. ed. São Paulo: Synergia, 2009. Acesso em 24 de maio de 2021

LIMA, Leandro. C.; GOUVEIA, Lucas. S. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia - **ILUMINAÇÃO PÚBLICA: história, tecnologias e aplicações**. UFRJ, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em:

<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10030398.pdf> Acesso em 10 de junho de 2021

LUZ, Jeanine. M. **Livro Luminotécnica do Curso de Luminotécnica da Universidade de Campinas**. UNICAMP, Campinas, 2019. Disponível em:

<https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf> Acesso em 25 de maio de 2021.

SANTANA, Rosa. Dissertação apresentada à Universidade Salvador, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Regulação da Indústria de Energia - **ILUMINAÇÃO PÚBLICA: uma abordagem gerencial**. UNIFACS, Salvador, 2010.

Disponível em:

[https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Pesquisa/iluminacao\\_publica\\_uma\\_abordagem\\_gerencia.pdf](https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Pesquisa/iluminacao_publica_uma_abordagem_gerencia.pdf) Acesso em 24 de maio de 2021

SILVA, Rúben. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - **ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO - DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE CÁLCULO LUMINOTECNICO E DE RENTABILIDADE**. FEUP, Portugal, 2013. Disponível em: [https://hosting.port.feup.com/26434%20\(1\).pdf](https://hosting.port.feup.com/26434%20(1).pdf) Acesso em 28 de maio de 2021.