

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE**  
**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**DANIEL ALTENHOFER LINCK**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO  
PÚBLICA: AUTOMAÇÃO DE LUMINÁRIAS**

**PORTO ALEGRE**

**2021**

**DANIEL ALTENHOFER LINCK**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO  
PÚBLICA: AUTOMAÇÃO DE LUMINÁRIAS**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

**PORTO ALEGRE**

**2021**

## Catálogo de Publicação na Fonte

L736e Linck, Daniel Altenhofer.  
Estudo de viabilidade de otimização de sistemas de iluminação pública: automação de luminárias / Daniel Altenhofer Linck. – Porto Alegre, 2021. 49 f.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Monografia (graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, Unidade em Porto Alegre, 2021.

1. Iluminação pública. 2. Otimização. 3. Automação. 4. Microcontrolador. I. Peixoto, João Alvarez.. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Bibliotecas da Uergs.

**DANIEL ALTENHOFER LINCK**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO  
PÚBLICA: AUTOMAÇÃO DE LUMINÁRIAS**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Aprovado em: 22 / 01 / 2021

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

---

Prof. Dr. Fernando Almeida Santos  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

---

Prof. Me. Marcos Kan Moori  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

**PORTO ALEGRE**

**2021**

Dedico este trabalho à memória de meu pai, um entusiasta da eletrônica que despertou em mim a necessidade de desmontar e arrumar (nem sempre) tudo o que eu via pela frente.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Luiz e Rosane, por me ensinarem que a educação é o caminho para o desenvolvimento humano, agradeço aos meus irmãos, Junior e Rafael, pela ajuda com a maquete, pelo apoio eterno e união, sem eles não seríamos uma família tão unida.

Agradeço à minha esposa, Katiussa, a qual conheci graças a UERGS, entrei na faculdade namorando e saí casado, e muito realizado. Isso mostra o quanto ela me ajudou a evoluir nesse período. Obrigado por me apoiar a voltar aos estudos, pela ajuda fundamental em Cálculo, pela parceria e compreensão, obrigado por me fazer uma pessoa melhor.

Agradeço aos colegas de curso, especialmente aqueles do grupo de *Whatsapp* criado com seis pessoas e que hoje são 25, isso representa a força e a união da turma de 2017, a turma que mantém o menor número de desistentes da Automação, graças as “parceir@s” que não deixam o pessoal desistir. Vou sentir saudades do café passado antes da aula, com direito a pão com chimia e cuca, das reuniões de estudo nas semanas de prova, tumultuando a Biblioteca Central, e dos momentos de descontração onde o riso rolava solto com piadas de peão e ofensas do quinto ano do ensino fundamental, sem vocês com certeza eu não estaria me formando agora.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a todos professores do curso, em especial ao orientador do presente trabalho, João Peixoto, não apenas pelo empenho em me orientar, mas por toda incansável dedicação exemplar ao curso.

“Os grandes só parecem grandes porque estamos  
de joelhos. Levantemo-nos.”

Pierre-Joseph Proudhon

## RESUMO

O desperdício de energia elétrica é um tema cada vez mais recorrente em um mundo mais consciente, não apenas por questões econômicas, mas principalmente pelas consequências ecológicas ligadas a geração de eletricidade. Novas tecnologias permitem que a sociedade de um passo à frente na questão da iluminação pública. As modernas lâmpadas de LED têm um consumo elétrico menor do que as lâmpadas de vapor de mercúrio e de sódio, as mais utilizadas no Brasil. Entretanto o salto tecnológico está em como controlar o acionamento dessas lâmpadas. Não há necessidade de uma lâmpada ficar ligada a noite inteira, mesmo quando não há circulação em via pública. Para isso, buscou-se na literatura científica alternativas para esse desperdício, que em cidades pequenas pode representar o segundo maior gasto da prefeitura. Após análise de dois trabalhos acadêmicos, foi proposto uma nova abordagem para a otimização da iluminação pública. Buscou-se desenvolver um sistema com base na automação, ou seja, um microcontrolador faz o controle de quando a lâmpada deve ficar ligada de acordo com a movimentação de transeuntes na via pública. Dessa forma o presente trabalho classifica-se como experimental, uma vez que o pesquisador do presente trabalho montou e programou componentes eletrônicos a fim de obter dados científicos. Com a obtenção e análise dos dados, a pesquisa pode ser classificada como quantitativa, afinal é possível quantificar a quantidade de energia economizada com o sistema proposto. Entretanto, como esse sistema utiliza variação da tensão de alimentação do LED, a pesquisa pode ser classificada como qualitativa, visto que a redução da tensão aumentará a vida útil dos LED, porém não sendo possível prever o tempo de vida ganho pela lâmpada. O sistema proposto apresentou uma redução de até 91% no consumo de energia elétrica em relação as lâmpadas de vapor de sódio e 82% em relação as lâmpadas de LED sem o sistema automatizado, de acordo com dados coletados na cidade de Xangri-lá – RS. Constatou-se também uma melhor eficiência entre os dois trabalhos acadêmicos utilizados como parâmetros. Com isso o estudo se mostrou viável a uma aplicação prática, requerendo uma melhor investigação quanto a instrumentação, tipos e locais para melhor instalação de sensores responsável pela captação do fluxo de transeuntes.

**Palavras-chaves:** Iluminação pública. Otimização. Automação. Microcontrolador.

## ABSTRACT

The waste of electric energy is an increasingly recurrent theme in a more conscious world, not only for economic reasons, but mainly for the ecological consequences linked to the generation of electricity. New technologies allow society to step forward on the issue of public lighting. Modern LED lamps have a lower electrical consumption than mercury and sodium vapor lamps, the most used in Brazil. However the technological leap is in how to control the activation of these lamps. It no longer makes sense for a lamp to stay on all night, even when there is no circulation on public roads. For this, alternatives were sought in the scientific literature for this waste, which in small cities may represent the second largest expenditure by the city. After analyzing two academic works, a new approach was proposed to optimize public lighting. We sought to develop a system based on automation, that is, a microcontroller controls when the lamp should be on according to the movement of passers-by on the public road. Thus, the present work is classified as experimental, since the researcher assembled and programmed electronic components in order to obtain scientific data. With the data obtained and analyzed, the research can be classified as quantitative, after all it is possible to quantify the amount of energy saved with the proposed system. However, as this system uses variation of the LED supply voltage, the research can be classified as qualitative, since the voltage reduction will increase the useful life of the LEDs, however it is not possible to predict the lifetime gained by the lamp. The proposed system showed a reduction of up to 91% in the consumption of electric energy in relation to sodium vapor lamps and 82% in relation to LED lamps without the automated system, according to data collected in the city of Xangri-lá – RS. There was also a better efficiency between the two academic works used as parameters. With this, the study proved to be viable for a practical application, requiring a better investigation regarding the instrumentation, types and locations for better installation of sensors responsible for capturing the flow of passers-by.

**Keywords:** Street lighting. Optimization. Automation. Microcontroller.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Lâmpadas iluminando ruas desertas na cidade de Xangri-lá durante a madrugada. ....	15
Figura 2 – Funcionamento de uma lâmpada incandescente. ....	18
Figura 3 – Funcionamento de uma lâmpada de vapor de mercúrio ....	19
Figura 4 – Funcionamento da lâmpada de LED de cor branca ....	20
Figura 5 – Variação de resistência com a luz em um sensor ótico.....	22
Figura 6 – Sinal PWM ....	24
Figura 7 – Alguns dos principais modelos de Arduino: NANO, UNO e MEGA. ....	24
Figura 8 – Consumo versus intensidade luminosa em uma luminária LED. ....	25
Figura 9 – Eficiência versus tensão de entrada em uma luminária LED. ....	26
Figura 10 – Fluxograma do método aplicado ....	30
Figura 11 – Esquema de ligação do coletor dados de fluxo de movimento ....	31
Figura 12 – Dispositivo de coleta de fluxo de transeuntes ....	32
Figura 13 – Esquema elétrico da maquete.....	34
Figura 14 – Representação da maquete com luminárias desligadas e ligadas com 50% e 100% da tensão ....	37
Figura 15 – Maquete com postes desligados e ligados com 50% e 100% da tensão de trabalho ....	38
Figura 16 – Lâmpadas com 50% da tensão, situação (c) ....	41
Figura 17 – Lâmpadas apagadas, exceto da esquina, situação (d) ....	41
Figura 18 – Metade das lâmpadas apagadas e metade com 50% da tensão, situação (e).....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores dos três cenários propostos para o ensaio na redução de iluminação durante a noite em luminárias. ....	26
Tabela 2 – Comparação do fluxo de transeuntes nos dois pontos de coleta .....	33
Tabela 3 – Consumo de energia em uma noite com sistema clássico, com lâmpadas de LED e os três sistemas otimizados de iluminação para 32 luminárias .....	36
Tabela 4 – Economia de energia elétrica das três situações testadas em relação aos dois controles .....	39
Tabela 5 – Consumo de energia elétrica das situações testadas em 50% de tempo com tensão nominal .....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IDE	<i>Integrated Development Environment</i> - Ambiente de desenvolvimento integrado
LCD	<i>Liquid Cristal Display</i> – <i>Display</i> de cristal líquido
LED	<i>Light Emiter Diode</i> - Diodo Emissor de Luz
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> – Modulação por largura de pulso
TIR	Taxa Interna de Retorno
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UERGS	Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

kWh	quilo watt-hora
mA	mili Ampéres
V	Volts
W	Watts

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
<b>2.1.1 Lâmpadas LED.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2 Sensores .....</b>	<b>20</b>
2.1.2.1 Sensor de presença.....	21
2.1.2.2 Sensor óptico .....	21
<b>2.1.3 Microcontrolador .....</b>	<b>22</b>
2.2 PESQUISAS RELACIONADAS .....	25
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
3.1 TIPO DE PESQUISA .....	28
3.3 MÉTODO APLICADO .....	29
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>5 ANÁLISE .....</b>	<b>39</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos se inserem nas mais diversas áreas do conhecimento e, conseqüentemente, no cotidiano do ser humano. A iluminação pública sempre acompanhou a evolução tecnológica desde a capacidade de controlar o fogo, com tochas ou combustíveis líquidos ou gasosos, até o conjunto de mini diodos emissores de luz alinhados sobre uma placa, conhecido como refletor de LED (sigla em inglês para Diodo Emissor de Luz) que se observa hoje nos postes de iluminação pública mais modernos.

A possibilidade de iluminação noturna sempre fascinou a humanidade, seja por necessidade, por segurança ou por conforto. Porém, essa luz sempre teve um custo. A tecnologia busca constantemente a redução desse custo e o aumento da capacidade de iluminação. Entretanto os avanços tecnológicos não se resumem a lâmpadas. É possível melhorar a tecnologia de acionamento das lâmpadas e os sensores que captam informações para determinar se a lâmpada deve estar ligada ou desligada.

Partindo do pressuposto que a iluminação pública serve aos moradores das cidades, quando não há um cidadão na rua, não há por que a lâmpada estar ligada, afinal a luz ilumina o que ninguém vê. Porém, com as lâmpadas de vapor de sódio, atualmente a mais utilizada do Brasil (PINTO, 2015), não é possível desligar a lâmpada quando não há ninguém na rua e ligá-la novamente quando um carro ou pedestre se aproximar, porque as lâmpadas desse tipo precisam de um tempo para religar, ou seja, depois que são desligadas, demoram alguns minutos para ligar novamente.

Assim, os pontos de iluminação de uma cidade são acionados por um dispositivo fotosensível, em que quando há claridade o dispositivo não permite a passagem de corrente elétrica para a lâmpada. Já à noite, no escuro, a eletricidade é liberada para chegar até a lâmpada, gerando iluminação. Com isso, as luzes dos postes ficam ligadas, em média, 12h por dia, consumindo cerca de 400W por hora de energia elétrica, mesmo às 4h da madrugada de uma noite de inverno chuvosa, quando não há ninguém na rua, ela permanece ligada.

Segundo informações divulgadas pelo governo federal e apuradas pelo jornal Zero Hora, de Porto Alegre, há cerca de 18 milhões de pontos de luz no Brasil, o que representa cerca de 4% da energia elétrica do país (RODRIGUES, 2020). Já o consumo residencial representa 25% (CBIE, 2020). Ainda de acordo com a matéria do jornal, em diversos municípios, a conta de luz é o segundo maior gasto da prefeitura, perdendo apenas para a folha de pagamento.

Na cidade de Porto Alegre, em 2018, a prefeitura desembolsou R\$ 37,7 milhões com iluminação pública, sendo R\$ 9,7 em contratos e compra de equipamentos e R\$ 28 milhões em

contas de luz, apenas da iluminação pública, ruas, praças e monumentos, não incluindo prédios públicos (FARINA, 2020).

As atuais lâmpadas de LED são até 50% mais econômicas e a qualidade da iluminação é superior à das lâmpadas de vapor de sódio (AGUERA, 2015), além de ser possível controlar sua intensidade luminosa e de não ser preciso aguardar o tempo de religamento, ou seja, a lâmpada pode ser desligada e ligada novamente sem que haja um período de espera.

Em outras palavras, lâmpadas de LED são mais controláveis do que lâmpadas de vapor metálico, isso abre novas possibilidades tecnológicas. No lugar do relé fotocontrolador é possível ter um microcontrolador que se serve de sensores como: de presença, de luminosidade e até mesmo de comunicação, para determinar quando e em qual intensidade a lâmpada deve ser ligada, reduzindo, assim, o consumo de energia elétrica. É essa controlabilidade que o presente trabalho pretende explorar.

Diversas prefeituras do país estão fazendo contratos para substituir as lâmpadas de vapor por modernas, de LED (CAXIAS DO SUL, 2020; MARTINS, 2020; PORTO ALEGRE, 2020), mas é possível modernizar também o sistema de acionamento e controle da lâmpada.

Mas a otimização do acionamento, ou seja, controlar a forma (intensidade) e o momento que as lâmpadas são ligadas (comando) pode fazer diferença significativa no consumo de energia elétrica de uma cidade?

Para isso será necessário estabelecer em quais momentos a lâmpada pode diminuir sua intensidade ou até mesmo desligar, quais e quantos sensores serão necessários para fazer com que o microcontrolador tenha informações necessárias e confiáveis para controlar a luminária, visando a economia de energia sem prejudicar a iluminação das vias quando houver trânsito, seja de pedestres, ciclistas ou automóveis.

Para tentar mensurar a quantidade de energia que pode ser economizada com a otimização do controle de acionamento da iluminação de postes públicos, serão montados dois dispositivos distintos. O primeiro será um microcontrolador alimentado com informações de um sensor de luminosidade (fotoresistivo) e um sensor de presença. As informações serão colhidas em dois pontos distintos na cidade de Xangri-lá – RS.

As informações do fluxo de pedestres e veículos serão inseridas em um segundo microcontrolador que fará o controle de minipostes de LED distribuídos em uma maquete. Além de utilizar os dados coletados, também será possível simular diferentes situações do cotidiano de uma cidade, com isso torna-se exequível a medição do consumo de energia elétrica em cada miniposte nas diferentes situações testadas.

A otimização das luminárias públicas pode ir além, com a economia gerada pela redução

do consumo de energia elétrica, é possível investir em novas funcionalidades para os postes. Apenas incorporando outros dispositivos ao microcontrolador, se pode coletar informações meteorológicas ou disponibilizar sinal de *wi-fi*, por exemplo, trazendo benefícios para toda sociedade, afinal o poste de luz é o elemento mais democrático, pois ele está presente em todos os cantos do país.

A Figura 1 torna o problema do presente trabalho visível. É possível ver a luz de onze lâmpadas que ficam, em média, ligadas 12 horas por dia, iluminando a vida de apenas duas famílias, apesar dessa rua ter apenas um terreno baldio, as demais casas são de veraneio, ou seja, ficam ocupadas cerca de 2 ou 3 meses por ano, entretanto as lâmpadas trabalham 365 noites por ano.

Figura 1 – Lâmpadas iluminando ruas desertas na cidade de Xangri-lá durante a madrugada.



Fonte: Autor (2021).

Posto isso, o presente trabalho tem o objetivo de esclarecer se a otimização do sistema de controle de iluminação pública pode gerar diferença significativa no consumo de energia elétrica, sem prejuízo do objetivo primário das lâmpadas: iluminar a cidade quando necessário. Diversas cidades, como Xangri-lá, poderiam se beneficiar de um sistema de iluminação pública mais inteligente.

Para que o objetivo seja alcançado serão realizadas ações específicas, de forma a se complementarem e evidenciarem o objetivo geral. São elas:

- a) pesquisar sobre os meios de otimização de energia em iluminação pública;
- b) identificar o comportamento de veículos e pedestres no período noturno em uma via pública específica;
- c) implementar um sistema de iluminação em escala reduzida para simular o controle e o acionamento da iluminação;
- d) monitorar o consumo de energia no protótipo em escala, com comportamento tradicional e com otimização segundo existência de pedestres ou veículos;
- e) comparar os resultados, verificando o grau de economia.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Para melhor compreensão do presente trabalho, faz-se importante o entendimento de alguns conhecimentos, para isso este capítulo pretende esclarecer e conceituar todas as técnicas e matérias utilizados para alcançar o objetivo proposto. Na fundamentação teórica serão esclarecidos os componentes eletroeletrônicos estudados e posteriormente, nas pesquisas relacionadas, serão abordados os trabalhos científicos que serviram de base teórica para a construção do presente experimento.

### **2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este tópico se dedica ao esclarecimento dos materiais eletroeletrônicos utilizados nos dois dispositivos montados pelo pesquisador. O primeiro visa mensurar o fluxo de pedestres e veículos em via pública, já o segundo controla o acionamento dos LED da maquete que simulam pontos de iluminação pública, além de quantificar o consumo de energia elétrica em cada uma das luminárias de LED. Com isso, será explicado o funcionamento de alguns tipos de lâmpadas, de sensores e o que são e como funcionam os microcontroladores.

#### **2.1.1 Lâmpadas LED**

Antes de entender como funcionam as lâmpadas de LED, é importante compreender o funcionamento de suas predecessoras na iluminação pública, as lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio e as incandescentes. Porém, a iluminação pública não se restringe à lâmpadas, antes mesmo de sua invenção, os lampiões eram responsáveis pela iluminação das vias na Europa no século XV. No Brasil, a cidade do Rio de Janeiro foi responsável pela instalação do primeiro sistema de iluminação pública em 1794, utilizando lampiões com combustível a base de azeite (AGUERA, 2015).

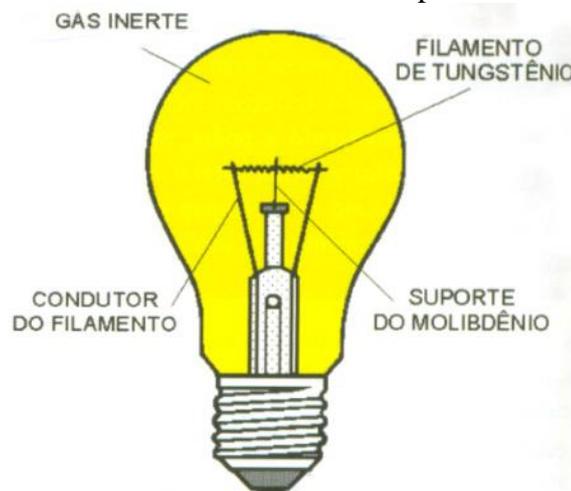
Foi apenas em 1879 que a energia elétrica começou a ser utilizada em larga escala para acionar lâmpadas incandescentes em Nova Iorque, nos Estados Unidos da América. No mesmo ano, a Estação da Corte da Estrada de Ferro Central do Brasil, no Rio de Janeiro, recebeu o primeiro sistema de iluminação elétrica do país, graças à parceria entre Dom Pedro II e a empresa Edison Electric Light Co., cujo dono era o criador da lâmpada incandescente, Thomas Alva Edison (AGUERA, 2015).

Lâmpadas incandescentes funcionam de acordo com o princípio da resistência elétrica

que é quando a corrente elétrica é forçada a passar por um fio muito fino. Essa dificuldade apresentada à eletricidade gera calor, tanto que deixa esse pequeno pedaço de fio incandescente, emitindo uma luz branca de tom levemente amarelado (LIMA, 2016). Entretanto o calor é tão grande que acaba derretendo o fio. O desvio de Thomas Edson foi desenvolver um filamento que aguentasse altas temperaturas sem se romper.

Em 1879, Edson e seus cientistas, após testarem cerca de seis mil materiais, conseguiram fazer uma linha de algodão carbonizada ficar acesa por mais de 40 horas (LIMA, 2016). Atualmente as lâmpadas incandescentes utilizam tungstênio no filamento e a atmosfera dentro do bulbo de vidro é livre de oxigênio e preenchida com argônio, o que evita que o filamento entre em combustão (LIMA, 2016). Mas ainda assim sua eficiência é de 5%, ou seja, 95% da energia elétrica consumida pela lâmpada é convertida em calor e não em luz, o que faz com que a lâmpada incandescente seja a menos eficiente (WAIDE, 2010).

Figura 2 – Funcionamento de uma lâmpada incandescente.

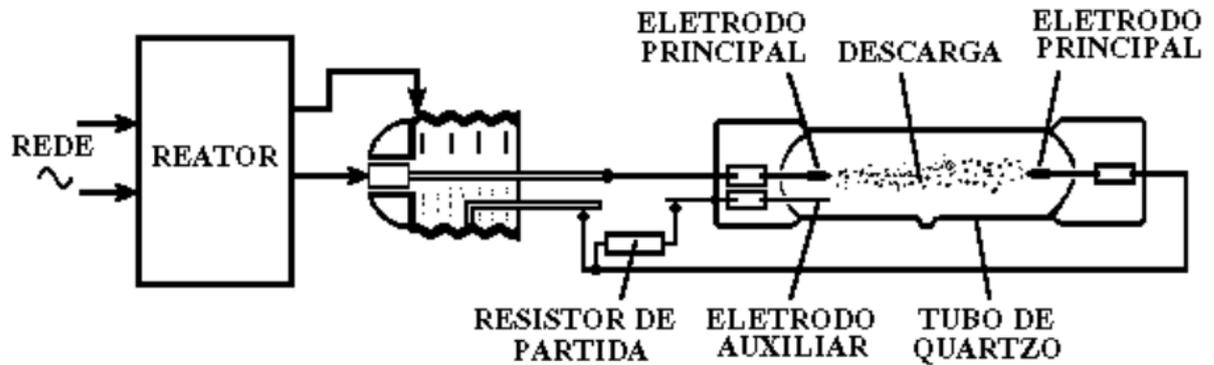


Fonte: Qualidadeonline (2011).

Nikola Tesla foi o responsável pela criação da lâmpada fluorescente em 1895 (MINISTÉRIO DA CIDADANIA, 2020), seu funcionamento se dá, em termos simplificados, pela passagem de corrente elétrica através de um gás, gerando a ionização desse gás e consequentemente produzindo a luz visível (SUPER INTERESSANTE, 2011). Posteriormente, surgiram outros tipos de lâmpada com base no mesmo funcionamento: as lâmpadas de descarga e lâmpadas de vapor de sódio ou mercúrio. Para isso é necessário um tubo de vidro (tubo de descarga) contendo neônio, xenônio, hélio, criptônio ou, no caso das lâmpadas fluorescentes, argônio. Já as lâmpadas de vapor contêm vapor de mercúrio ou de sódio dentro do tubo que pode estar sob alta ou baixa pressão. Em cada extremidade do vidro há um eletrodo, ligado a

um reator que eleva e estabiliza a tensão da rede elétrica, ajudando a criar um arco elétrico dentro do tubo de descarga, como pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Funcionamento de uma lâmpada de vapor de mercúrio



Fonte: Waymouth (1980).

Em 1963 Nick Holonyac criava o primeiro LED, porém por emitir pouca luz não servia para iluminar, além de existir apenas na cor vermelha, sendo utilizado apenas em aparelhos eletrônicos para indicar se estavam ligados ou não. Entretanto, seu princípio de funcionamento é o mesmo dos potentes LEDs modernos, que são semicondutores que emitem luz em resposta à passagem de corrente elétrica (REIS, 2019). Apenas nos anos 1990, depois de 30 anos de pesquisa, Hirohi Amano, Shuji Nakamura e Isamu Akasaki conseguiram desenvolver o LED de cor azul e, conseqüentemente através de filtros, a cor branca, como pode ser visto na Figura 4. Em 2014 os três pesquisadores ganharam o prêmio Nobel de física pela descoberta, o que possibilitou uma revolução no sistema de iluminação (G1, 2014).

Figura 4 – Funcionamento da lâmpada de LED de cor branca



As lâmpadas de LED, além de serem mais eficientes que as demais, não possuem metais ou gases poluentes e tóxicos. Outra vantagem é que o feixe de luz não contém raios infravermelhos, ou seja, não emite uma onda de luz invisível ao olho humano e que gera calor. Lâmpadas de LED não precisam de altas e constantes tensões, ao contrário, elas funcionam em uma ampla faixa de tensão, reduzindo seu brilho caso recebam tensões abaixo do seu valor nominal, além de ter a maior vida útil entre todos os tipos de lâmpada (LIMA, 2018).

De acordo com Dallabrida, Gonçalves e Piovesan (2015), a lâmpada incandescente emite 742,85% mais calor do que a lâmpada de LED, além de a lâmpada de LED ter a maior vida útil entre as lâmpadas apresentadas, com cerca de 30.000 horas de trabalho, enquanto a fluorescente e a incandescente ficam com 6.000 e 1.000 horas, respectivamente. Sua eficiência também é a mais alta, 88%.

### 2.1.2 Sensores

Sensores são “dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc.” (THOMAZINI, 2008, p. 17). Para o presente estudo será necessário o entendimento de sensores de presença e de sensores ópticos, explicados a seguir.

### 2.1.2.1 Sensor de presença

Existem diversos tipos de sensores de presença que se diferem de acordo com o princípio de funcionamento e aplicação. Dentre eles estão os sensores ópticos, de infravermelho, ultrassônicos, entre outros.

Sensores infravermelhos dividem-se em dois tipos, ativos e passivos. Os sensores ativos são compostos por dois componentes separados: o emissor e o receptor, que são interligados por um feixe de luz infravermelha. Quando um objeto interrompe a barreira de luz o sensor é ativado. Já os sensores infravermelhos passivos possuem apenas o receptor, que detecta o calor dos objetos, como o corpo humano ou veículos, por exemplo. Esse tipo de sensor é comumente utilizado em sistemas de alarme residencial (THOMAZINI, 2008).

A título de desambiguação, será abordado o sensor óptico dentro da família de sensores de presença, que se difere da família de sensores ópticos. Os sensores ópticos detectam qualquer material sem que haja contato mecânico, seu princípio de funcionamento está baseado no mesmo princípio do infravermelho ativo, criando uma barreira luminosa entre emissor e receptor, que detecta os objetos quando o receptor deixa de receber o sinal do emissor. É possível também utilizar a lógica inversa, para isso o emissor e o receptor devem estar lado a lado, o sinal enviado pelo emissor bate no objeto e reflete no receptor, dessa forma o sensor detecta a presença de algo quando o receptor fica ativo (THOMAZINI, 2008).

### 2.1.2.2 Sensor óptico

Diferente dos sensores que recebem o mesmo nome, abordados anteriormente, esses sensores ópticos não emitem luz, eles detectam quando alguma luz externa incide sobre eles, como a luz do Sol, por exemplo. Dentro dessa família de sensores existem os fotorresistores, fotodiodos, fototransistores, fototiristores, entre outros.

Neste trabalho será abordado apenas o sensor fotorresistor, comumente utilizado nos pontos de iluminação das cidades, cada ponto de luz está equipado com um sensor fotorresistivo, que altera a resistência à passagem elétrica de acordo com a incidência de luz, ligando a lâmpada a noite e desligando com a luminosidade solar. Esse tipo de sensor “apresenta uma resistência extremamente elevada no escuro, da ordem de milhões de ohms. Essa resistência é diminuída [...] quando recebe iluminação direta, a luz forte, uma lâmpada próxima ou a luz direta do sol.” (THOMAZINI, 2008, p. 62). Como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Variação de resistência com a luz em um sensor ótico.



Fonte: Thomazini (2008, p. 63).

Diferentemente do que acontece nos pontos de iluminação das cidades, no presente trabalho, o sensor fotorresistivo não será responsável pela ligação da lâmpada. Ele será responsável por informar quando o sensor de infravermelho deve captar os dados de fluxo de transeuntes, ou seja, esse sensor será a chave liga/desliga do sistema otimizado que se pretende desenvolver. Quando for escuro o sensor fotorresistivo habilita o sensoriamento por infravermelho, durante o dia, mesmo que haja fluxo na via pública, ele não será contabilizado.

### 2.1.3 Microcontrolador

O entendimento do que é e como funciona um microcontrolador é indispensável para a compreensão do presente estudo. Existem diversos tipos de microcontroladores e eles estão presentes em praticamente todos os lugares: aviões, carros, brinquedos, aparelhos de TV, celulares, entre outras. São dispositivos programáveis que ficam dentro de um *chip*, juntamente com outros dispositivos, como memória, temporizador, relógio interno, entradas e saídas, além de possuir o *hardware* e o *software* integrados no mesmo *chip* (REBOUÇAS FILHO, 2014).

Todos esses sistemas embarcados em um único *chip* é o que caracteriza a principal diferença entre microcontrolador e microprocessador, este presente em computadores, por exemplo (REBOUÇAS FILHO, 2014). Em outras palavras, o microprocessador é um cérebro que necessita de vários membros (periféricos), enquanto o microcontrolador tem todos esses membros integrados a um cérebro dentro do mesmo *chip*, geralmente utilizado para realizar controle digital.

Em 2005, o professor Massimo Banzi desenvolveu um novo tipo de microcontrolador, para fins didáticos, de baixo custo e de fácil programação, batizado de Arduino (COSTA, 2020). Além das características, já apresentadas, de um microcontrolador, o Arduino possui entradas e saídas (portas lógicas) de fácil acesso, ou seja, é possível fazer a ligação entre sensores e atuadores sem a necessidade de soldas, basta conectar pequenos fios (*jumpers*) em suas portas, fazendo com que não se perca muito tempo com a montagem de protótipos. Dessa forma o microcontrolador tem a capacidade de receber um sinal, de um sensor por exemplo, processá-lo e, de acordo com a sua programação, enviar um sinal para a porta de saída, que pode estar conectado a um motor.

Outra vantagem do Arduino é a sua fácil programação, o *software* específico do Arduino (IDE *Integrated Development Environment* – Ambiente de desenvolvimento integrado) e uma linguagem de programação baseada na C/C++ tornam a experiência bastante intuitiva. Pela facilidade, baixo custo e por adotar a filosofia de *software* livre, o Arduino é amplamente utilizado nos mais diversos projetos. Usuários de todo o mundo podem ajudar a desenvolver o Arduino, criando bibliotecas, por exemplo.

As bibliotecas são trechos prontos de códigos de programação que oferecem funcionalidades específicas, com isso o usuário não precisa criar um código do zero para estabelecer conexão entre o Arduino e uma tela de LCD (*Liquid Cristal Display* – *Display* de cristal líquido), por exemplo. Basta baixar a biblioteca específica para a tela de LCD e carregá-la no IDE do Arduino. Dessa forma o usuário não precisa se preocupar em como vai acontecer a comunicação entre os dois dispositivos, ele tem que se preocupar apenas com as mensagens que irão aparecer na tela. Existem centenas de bibliotecas disponíveis na internet, para controle de motores elétricos, para configuração dos mais variados tipos de sensores.

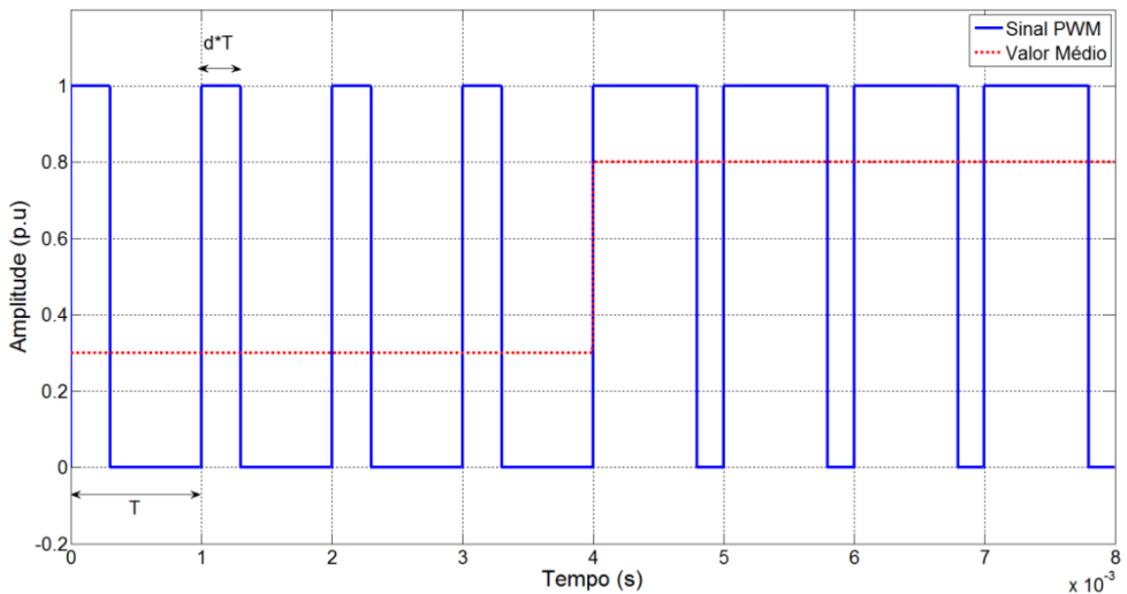
O Arduino possui portas lógicas digitais e analógicas, que podem funcionar como entrada ou saída, sendo a escolha feita através da programação. Portas digitais trabalham apenas com dois valores: 0 ou 1. Um sensor de presença envia sinais digitais, ou seja, 0 e 1, para isso a porta deve estar configurada como entrada, uma vez que o sinal do sensor entrará no Arduino pela porta. Entretanto para ligar um LED, por exemplo, a porta digital deve estar configurada como saída, afinal o sinal sairá do Arduino para o LED pela porta.

O mesmo princípio funciona na porta analógica, porém não são apenas dois valores, é uma faixa de valor que varia de 0 a 5V, com isso é possível usar um sensor fotoresistivo, no qual seu valor irá variar de acordo com a luminosidade.

Há uma terceira opção, as saídas PWM (*Pulse Width Modulation*) ou, em português, modulação por largura de pulso, esse tipo de saída está presente em algumas saídas digitais do

Arduino. É uma forma de simular uma saída analógica através da variação da largura da onda emitida pela porta digital. Para isso, o sinal digital liga e desliga dentro de ciclos específicos, “a porcentagem em que o sinal permanece em estado alto é denominada de *duty cycle*, ou seja, razão cíclica” (PINTO, 2015, p. 64). A Figura 6 representa um sinal PWM com *duty cycle* de 30% e de 80%, com isso, o valor médio eficaz acompanha os valores de *duty cycle*, como pode ser visualizado na linha vermelha (PINTO, 2015).

Figura 6 – Sinal PWM



Fonte: Pinto (2015).

Depois de 15 anos de seu lançamento, hoje existem diversos tipos de Arduino. Alguns podem ser vistos na Figura 7. Eles não se diferem apenas pela forma, o número de portas lógicas (entradas e saídas), o poder de processamento e de armazenamento de dados são algumas das diferenças entre os modelos, além da acessibilidade com *wi-fi* e *bluetooth* integrados, a escolha depende da finalidade do projeto.

Figura 7 – Alguns dos principais modelos de Arduino: NANO, UNO e MEGA.



Fonte: Autor (2021).

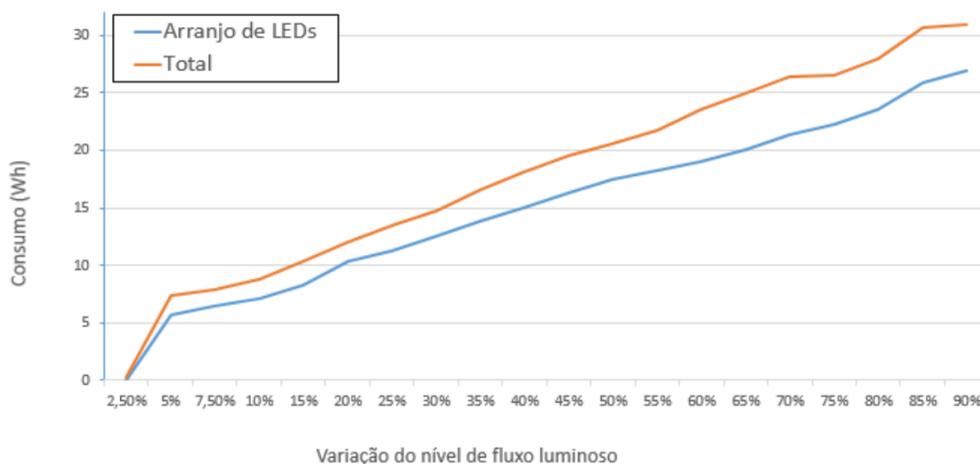
Dentre tantos modelos de Arduino, para o presente trabalho serão utilizados dois modelos, para captar os dados de fluxo em via pública, será utilizado o Arduino UNO, que contem 14 portas digitais e 6 analógicas, sua tensão de trabalho (recomendada) varia de 7V a 12V, porém ele suporta de 6V a 20V. Já para o controle dos postes da maquete será empregado o Arduino MEGA, por possuir mais saídas com sinal PWM (15), ao todo são 54 portas digitais e 16 analógicas. Esse modelo trabalha com a mesma faixa de tensão do Arduino UNO.

## 2.2 PESQUISAS RELACIONADAS

A fundamentação teórica da presente pesquisa se apoia na dissertação de mestrado da Pinto (2015), da Universidade Federal de Juiz de Fora, que propõe um sistema de monitoramento, gerenciamento e controle da iluminação pública, além de analisar os parâmetros da rede elétrica. Por ser uma pesquisa muito extensa, serão utilizados apenas os dados referentes ao consumo e à eficiência do sistema de iluminação com lâmpadas de LED, a parte de supervisor não abrange o presente trabalho.

De acordo com Pinto (2015), o consumo de energia elétrica de uma lâmpada de LED é diretamente proporcional com a variação da intensidade luminosa, ou seja, a relação potência e luminosidade é linear. É possível controlar a potência da lâmpada alterando a tensão de entrada, quanto maior a tensão aplicada na lâmpada maior será o seu brilho. Essa relação entre consumo de energia elétrica (em Wh) e o nível de fluxo luminoso pode ser melhor visualizada na Figura 8, elaborada por Pinto (2015).

Figura 8 – Consumo versus intensidade luminosa em uma luminária LED.

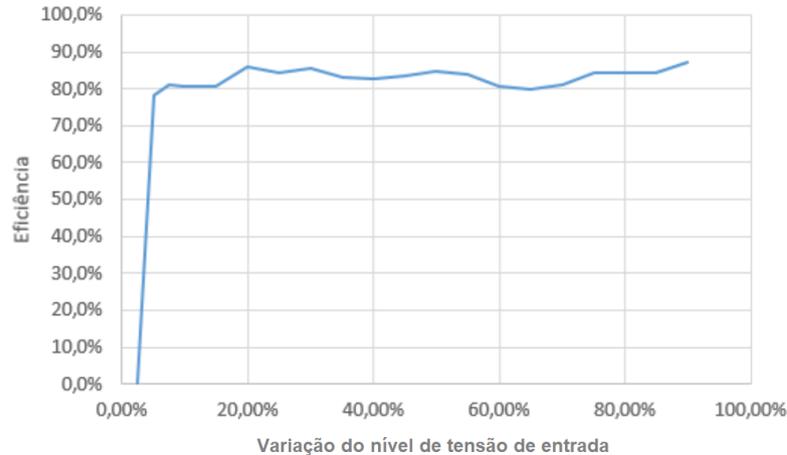


Fonte: Pinto (2015).

Foi apresentado anteriormente que a eficiência da lâmpada de LED é de 88%, de acordo

com Pinto (2015), essa eficiência se mantém sempre acima dos 80%, não importando o nível da intensidade luminosa, como pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Eficiência versus tensão de entrada em uma luminária LED.



Fonte: Adaptado de Pinto (2015).

Com base nos valores de consumo, Pinto (2015) propõe que as lâmpadas fiquem ligadas com 100% de sua potência das 18h às 24h. E das 0h até as 6h com 50% de intensidade. Esse modelo é proposto em três cenários: em luminárias de LED, ou seja, apenas reduzir a intensidade no período proposto; substituição das lâmpadas de vapor de sódio pelo sistema proposto; e substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio para implementação do sistema de LED com diferenciação da intensidade luminosa. Os resultados podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 – Indicadores dos três cenários propostos para o ensaio na redução de iluminação durante a noite em luminárias.

<b>Cenário</b>	<b>TIR</b>	<b>Payback</b>
Sistema de iluminação que já possui arranjo de LED	4,7%	11,1 anos
Substituição das lâmpadas de vapor de sódio por LED	49,2%	3,0 anos
Substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio por LED	92,6%	2,1 anos

Fonte: Pinto (2015).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um método de se avaliar propostas de investimentos. “Representa a taxa de desconto que iguala [...] os fluxos de entradas com os de saídas de caixa.” (KASSAI, 1996). De acordo com Pinto (2015), “TIR é uma taxa capaz de equilibrar os benefícios com o fluxo negativo de investimento [...] um grande valor de TIR representa um bom investimento.” Pinto (2015, p. 101). A título de comparação, a caderneta de poupança no Brasil apresenta uma TIR de aproximadamente 7% (PINTO, 2015).

*Payback* é o período de tempo que demora para o investimento inicial ser recuperado, ou seja, “o prazo no qual os rendimentos acumulados tornam-se iguais ao valor que foi investido inicialmente.” (REIS, 2019). No caso, todo valor gasto para substituir as lâmpadas de vapor de mercúrio pelo sistema de iluminação proposto por Pinto (2015) é recuperado em pouco mais de 2 anos pela economia de energia que o novo sistema proporciona.

Na parte de sensoriamento, será utilizada como fonte de pesquisa o artigo de Ramli *et al.* (2015), da Universiti Malaysia Pahang, publicado no Journal of Engineering and Applied Sciences de 2015, que aborda o uso de sensores de infravermelho passivos para a automação do sistema de iluminação pública.

Para testar a hipótese, Ramli *et al.* (2015) montaram uma maquete e colocaram um conjunto de sensores de infravermelho nas esquinas das ruas conectados a um Arduino UNO, dessa forma é possível saber de onde o veículo ou pedestre está vindo e para onde está indo, ligando as lâmpadas apenas da rua que o transeunte entrar.

Apesar do sensoriamento apresentar resultados satisfatórios, os testes não saíram do ambiente simulado da maquete, dessa forma os resultados apresentados referentes à economia de energia não são realistas, uma vez que o fluxo em via pública foi arbitrado.

Segundo a pesquisa, um sistema com 12 lâmpadas de 400W de vapor do sódio consome 1.728 kWh por mês, enquanto o sistema com lâmpadas de LED de 200W consome 864kWh/mês, ambos trabalhando 12h por dia. Já com o sistema de automação proposto pelos pesquisadores, o consumo será de 720kWh/mês. Considerando que das 12 lâmpadas, 4 ficam 12h ligadas, uma em cada esquina, e as outras 8 funcionam de acordo com o tráfego. Para essas 8 lâmpadas considerou-se um fluxo intenso das 19h até 1h da madrugada e fluxo baixo da 1h até as 7h da manhã, totalizando 9h de luminosidade em 100% e 3h de lâmpadas apagadas.

Com isso, Ramli *et al.* (2015) concluíram que há uma redução do consumo de 58,33% em relação as lâmpadas vapor de sódio e o sistema de LED com sensor de presença. Em uma comparação com um sistema de LED com e sem os sensores de presença a redução do consumo é de 16,67%.

Os valores arbitrados pelos pesquisadores representam um alto fluxo na via pública. O presente trabalho, além de tentar captar o fluxo real para não ter que arbitrar valores, investigará o fluxo de uma pequena cidade, pois acredita-se que é onde a economia de energia será maior, mesmo se comparada a um sistema de iluminação de LED sem sensores de fluxo.

### 3 METODOLOGIA

Com vista no objetivo geral do trabalho, descobrir se a otimização do sistema de controle dos pontos de iluminação pública pode gerar diferença significativa no consumo de energia elétrica de uma cidade sem prejudicar a iluminação das vias, serão montados dois dispositivos eletrônicos. O primeiro visa quantificar o fluxo, tanto de pedestres quanto de veículos, de uma determinada via pública. O segundo será uma maquete com minipostes de LED que utilizará os dados coletados pelo primeiro dispositivo para realizar simulações, testando diferentes intensidades luminosas. Com isso será possível mensurar a quantidade de energia elétrica que um LED consome na sua função de iluminação pública.

Neste capítulo será explicado o tipo de pesquisa que se pretende, onde o presente trabalho poderá ser aplicado, ou seja, a sua abrangência e, por fim, o método utilizado para alcançar os resultados, esses que serão detalhados no próximo capítulo.

#### 3.1 TIPO DE PESQUISA

Este trabalho caracteriza-se como experimental, de acordo com Gil (2007), esse tipo de pesquisa é o melhor exemplo de pesquisa científica. “Consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.” Gil (2007, p. 48). Ainda de acordo com o autor, nesse tipo de pesquisa o pesquisador é um agente ativo, e não apenas um observador passivo, como é o caso deste trabalho, o pesquisador é quem irá montar e programar os componentes eletrônicos citados e detalhados no capítulo anterior.

Entretanto, após a análise dos dados coletados, será possível quantificar o total de energia elétrica que pode ser economizada, essa análise de dados, ainda de acordo com Gil (2007), pode ser classificada como quantitativa, uma vez que é possível quantificar a eletricidade.

A redução do consumo elétrico com a diminuição da intensidade luminosa das lâmpadas de LED prolongará sua vida útil, porém não é possível mensurar esse tempo de vida a mais que as lâmpadas ganharão. Nesse aspecto, de acordo com Gil (2007), a presente pesquisa pode ser classificada como qualitativa.

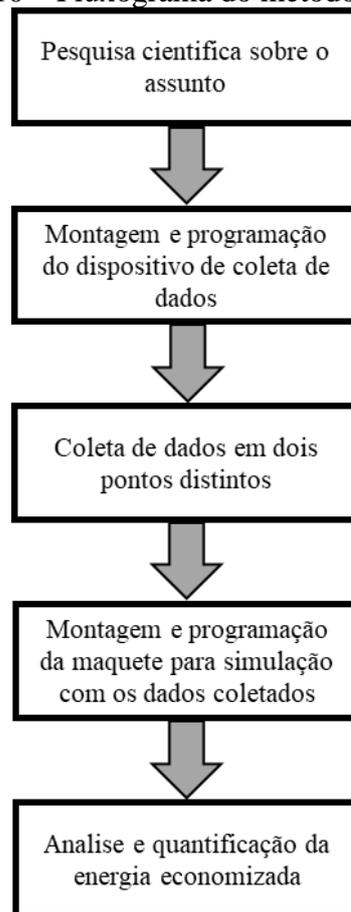
### 3.2 UNIVERSOS DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

Os resultados do presente estudo poderão ser aplicados em qualquer cidade que tenha iluminação em suas vias pública. Porém, acredita-se que a melhor resposta referente a redução do consumo de energia elétrica será nas pequenas cidades ou em bairros residenciais das grandes cidades. Uma vez que a redução do consumo será proporcional ao fluxo de pedestres e veículos. O que não significa que não haverá redução do gasto energético em grandes centros, afinal até mesmo as grandes avenidas têm redução expressiva de movimento durante a madrugada. Contudo são as prefeituras das pequenas cidades que podem ter grandes economias em suas despesas, visto que algumas dessas cidades têm a conta de luz como segundo maior gasto mensal, ficando atrás apenas da folha salarial (RODRIGUES, 2020).

### 3.3 MÉTODO APLICADO

Antes de se pensar em qualquer método de aplicação, inicialmente é necessário fazer uma pesquisa científica. Buscou-se na literatura trabalhos sobre controle, acionamento e otimização do sistema de iluminação pública, para descobrir se a ideia poderia ser viável. O segundo momento consiste na montagem e programação do dispositivo remoto de coleta de dados. Posteriormente será iniciada a construção da maquete que possibilitará a simulação em ambiente controlado dos dados coletados, o que facilitará a visualização da hipótese proposta. Por fim, será analisada a quantidade de energia elétrica economizada com a otimização do sistema de acionamento das luminárias da maquete, ao ser extrapolada para um cenário real, será possível analisar se o consumo reduziu significativamente. Essas etapas estão resumidas no fluxograma na Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma do método aplicado

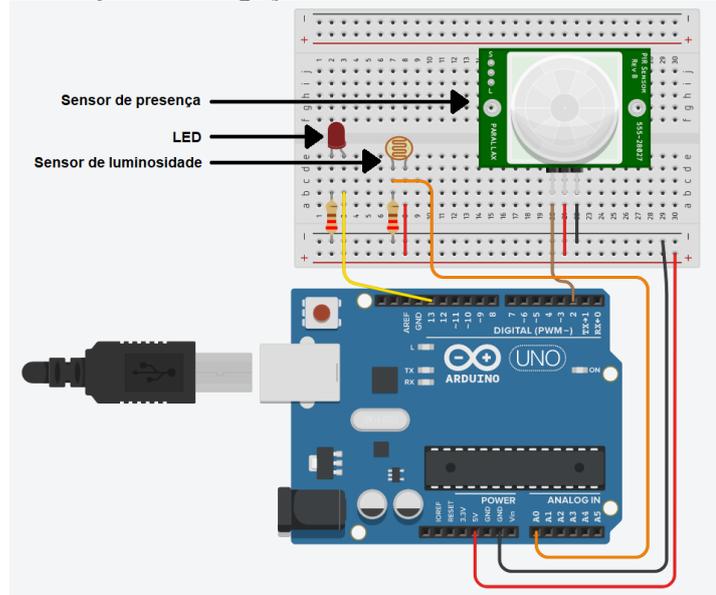


Fonte: Autor (2021).

Para a montagem do dispositivo de coleta de dados será utilizado um microcontrolador com um sensor de presença, que detectará o fluxo em via pública, e um sensor de luminosidade, que habilitará o sensor de presença apenas de noite. Toda vez que uma pessoa ou um veículo passar na frente do sensor, durante a noite, será enviado um sinal digital para o microcontrolador que irá computar e armazenar quantas vezes o sensor captou algum movimento.

A Figura 11 mostra o Arduino UNO, em uma de suas portas digitais está ligado o sensor de presença, ou seja, o sensor envia apenas 2 sinais, ligado e desligado. Diferentemente do sensor de luminosidade, que envia valores de 0 a 1.023, dependendo da quantidade de luz que incide sobre ele, por isso esse sensor está ligado a uma porta analógica do Arduino. Já o LED, que também está ligado a uma porta digital, funciona apenas para indicar quando o sensor de presença captar algum movimento, para isso, essa porta digital está configurada com saída, é o Arduino que envia o sinal para o LED, ligado ou desligado.

Figura 11 – Esquema de ligação do coletor dados de fluxo de movimento



Fonte: Autor (2021).

Fora determinado que o dispositivo será fixado em dois locais distintos, coletando dados durante uma semana em cada ponto. No primeiro momento será fixado no poste de entrada de energia elétrica do pesquisador, uma rua tranquila, com poucos moradores na cidade de Xangri-lá. Posteriormente, no mesmo tipo de poste, porém em uma casa situada na única rua que faz ligação entre os municípios de Xangri-lá e Osório, além de ser próxima a um acesso à praia, ou seja, um ponto com bastante movimento, tanto de pedestres quanto de veículos. Dessa forma serão obtidos dados bastante distintos, entretanto ambos de uma mesma cidade com uma população pequena, estimada em 16.775 habitantes (IBGE, 2020).

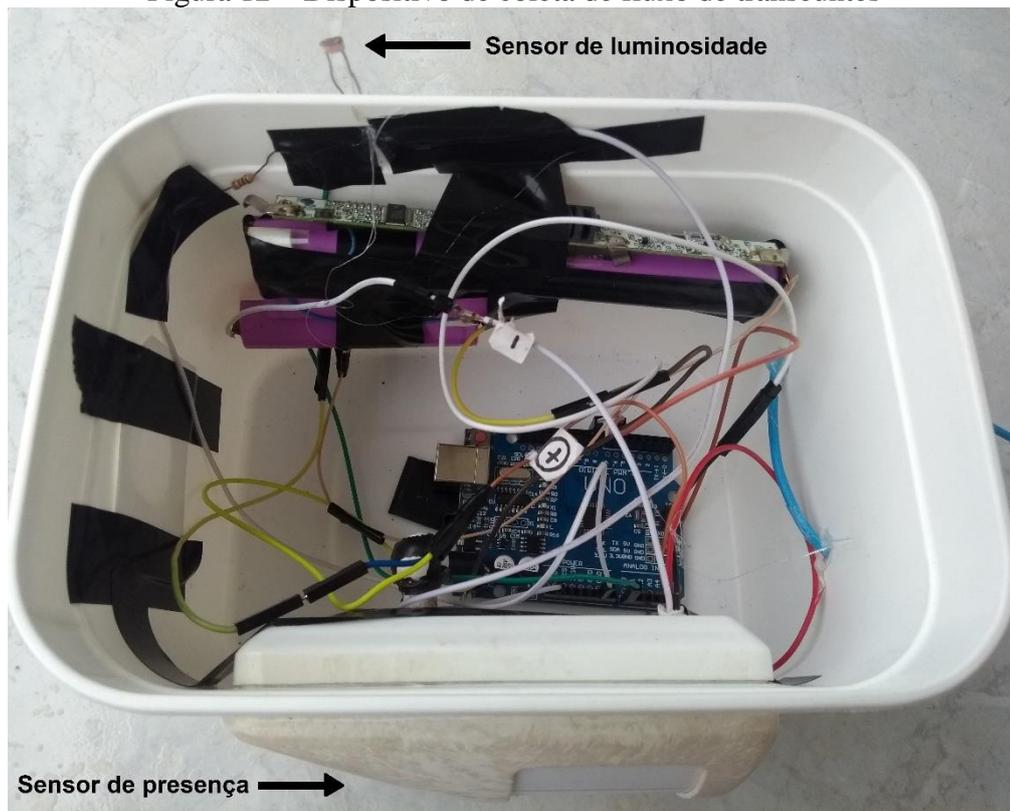
Outro microcontrolador será utilizado para fazer o acionamento e o controle da intensidade luminosa das luminárias de LED da maquete, ele também será equipado com outro sensor de presença instalado na maquete. Esse microcontrolador será alimentado com os dados obtidos pelo coletor de fluxo de movimento, além de ser possível também simular situações com base na análise de dados dos dois pontos de coleta distintos, ou seja, além das informações reais coletadas em via pública, é possível criar novas situações a partir dos dados empíricos. Há ainda a possibilidade de utilizar o sensor de movimento da maquete para fazer simulações de fluxo, essa para fins lúdicos.

Dessa forma será possível visualizar, na maquete, a diferença da intensidade luminosa quando não há movimentação na via. De acordo com o tempo que as luminárias ficarem ligadas (com dados obtidos na rua, ou simulados) será possível calcular a quantidade de energia elétrica economizada, pois ela terá relação com o tempo em que cada lâmpada ficará ligada, desligada, ou ainda, ligada com uma menor intensidade luminosa, proposta do trabalho.

## 4 RESULTADOS

Para montar o primeiro dispositivo foi utilizado um Arduino UNO ligado a um sensor fotossensível e a um sensor de presença para fazer a contagem do fluxo de transeuntes em via pública somente a noite. A Figura 12 mostra como esses componentes foram encapsulados, juntamente com uma bateria de *notebook* como fonte de alimentação, para proteção contra chuva.

Figura 12 – Dispositivo de coleta de fluxo de transeuntes



Fonte: Autor (2021).

Afim de obter dados mais realistas, optou-se por posicionar esse dispositivo em dois pontos distintos na cidade de Xangri-lá – RS. O primeiro ponto de fixação foi em uma rua com poucos moradores e baixo fluxo, tanto de veículos quanto de pedestres, por ser uma rua em que a maioria das casas são usadas apenas no verão. O segundo, apesar de não ser distante do primeiro ponto e de também possuir poucos moradores fixos, a maioria das residências é de uso sazonal, é a única avenida que faz a ligação entre o município de Xangri-lá e Osório (além da rodovia estadual RS-389). Essa mesma avenida também dá acesso à praia para pedestres, dessa forma é um ponto estratégico para o presente trabalho, pois há grande diferença de fluxo entre os dois pontos escolhidos.

Independentemente do ponto escolhido, o número de transeuntes na cidade aumenta nos finais de semana, por isso optou-se coletar as informações durante uma semana em cada um dos pontos de coleta de dados. Após a calibração do sensor fotorressistivo e alguns dias de testes para garantir que o dispositivo não iria computar o fluxo durante o dia, fixou-se o dispositivo no poste de energia elétrica, inicialmente na casa do pesquisador e na semana seguinte da casa do vizinho de esquina.

Dessa forma foi possível compilar os dados coletados entre os dias 2 e 15 de dezembro e elaborar a Tabela 2, os dados de cada dia representam a noite anterior e a madrugada respectiva, ou seja, os números de domingo foram contabilizados de sábado ao anoitecer até a alvorada de domingo.

Tabela 2 – Comparação do fluxo de transeuntes nos dois pontos de coleta

	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Ponto 1	9	7	8	7	9	10	12
Ponto 2	29	25	21	18	22	35	39

Fonte: Autor (2021).

O dispositivo confirmou a hipótese de o segundo ponto ser muito mais movimentado do que o primeiro. Na média, no ponto 1 o fluxo diário foi de 8,85 transeuntes, entretanto, a fim de facilitar os cálculos, será arredondado para 9 a média do ponto 1. Já no ponto 2 a média foi de 27 por noite, isso representa um fluxo aproximadamente 3 vezes maior. Apesar da Tabela 2 mostrar os dados por noite, optou-se por usar a média dos valores, uma vez que os dados não foram coletados simultaneamente nos dois pontos estipulados, uma análise diária pode ser distorcida por fatores externos, como o tempo, por exemplo. Um dia chuvoso tem um movimento significativamente menor em relação ao mesmo dia da semana com Sol.

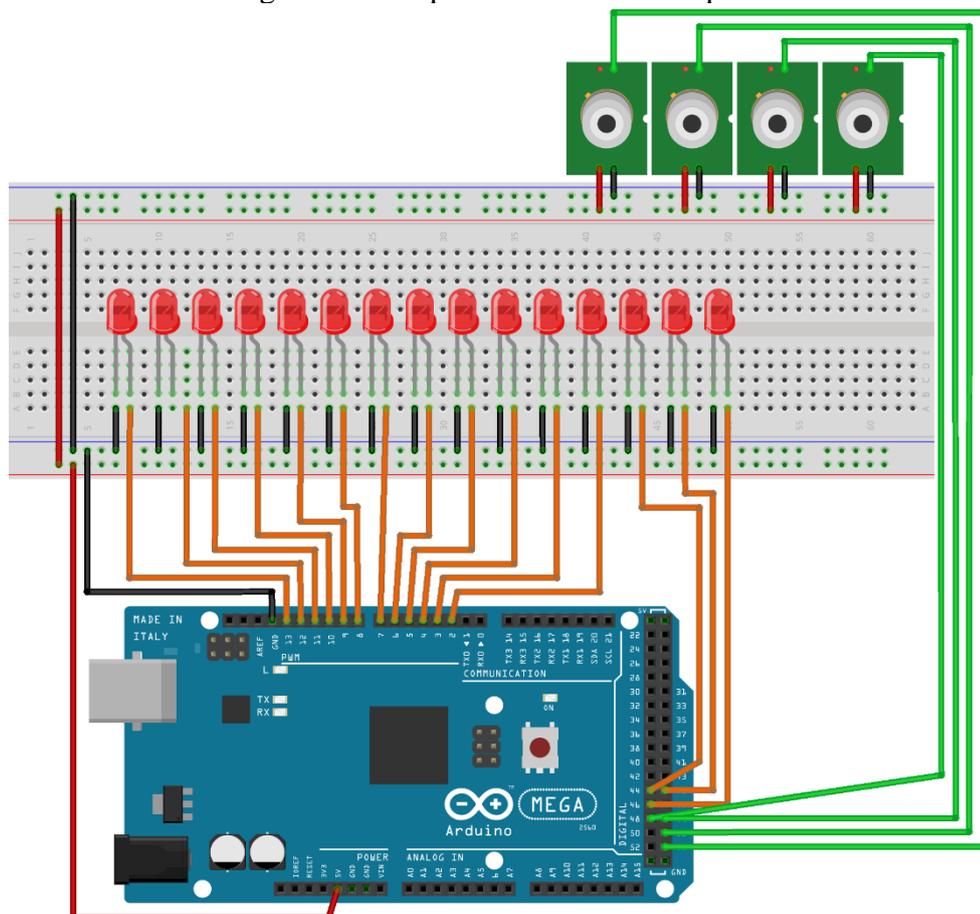
Porém, vale ressaltar que os dias de maior movimentação em via pública ocorreram no sábado, em ambos pontos de coleta. Já os dias com menor fluxos foram quarta-feira e quinta-feira, corroborando com a hipótese de que o fluxo maior acontece nos finais de semana, devido aos turistas e aos moradores esporádicos, o que leva a querer que cidades pequenas podem ter grandes benefícios com a implementação de um sistema de controle automatizado para a iluminação pública.

Para montar o segundo dispositivo utilizou-se dois Arduinos do modelo MEGA para fazer o controle de pequenos postes de LED, ao todo são 28 minipostes, cada um conectado a uma porta do Arduino, assim é possível controlar cada lâmpada independentemente, além de ser possível mensurar a corrente elétrica em cada luminária, podendo determinar o consumo de

energia elétrica. Apesar do Arduino MEGA possuir mais de 30 saídas, apenas 15 delas possuem modulação por largura de pulso (PWM), ou seja, só é possível fazer o controle da intensidade luminosa através de 15, das 54 portas digitais desse modelo de Arduino.

A maquete simula três ruas paralelas e mais uma avenida que faz a ligação entre essas três ruas, cada rua possui oito minipostes e a avenida possui quatro minipostes duplos, um poste no canteiro central com duas luminárias, uma para cada lado. Em cada esquina instalou-se um pequeno sensor de movimento, também conectado aos Arduinos, cada microcontrolador é responsável por metade da maquete, como pode ser visualizado no esquema representado pela Figura 13.

Figura 13 – Esquema elétrico da maquete



Fonte: Autor (2021).

Cada LED é ligado diretamente a uma porta PWM do Arduino, o que dispensa a utilização de resistores, uma vez que a saída enviará a tensão exata que o LED precisa (3V), ou metade, a depender da situação em teste.

Com base nos dados coletados pelo primeiro dispositivo foi possível fazer simulações na maquete. Utilizou-se três abordagens distintas, a primeira é baseada no modelo de Pinto

(2015), em que os pontos de luz diminuem sua intensidade luminosa quando não há movimentação na rua. A segunda experiência baseia-se em Ramli *et al.* (2015), no qual as luminárias apagam por completo quando não é detectada movimentação na via pública, com exceção dos postes de esquina. E, por fim, a terceira abordagem é a soma dessas duas ideias, quando não há circulação na rua alguns pontos luminosos desligam e outros ficam com 50% da tensão de trabalho, intercaladamente.

Com isso, aproveita-se o melhor das duas ideias apresentadas no referencial teórico, é possível ter uma maior economia com as luminárias totalmente desligadas, porém a via não ficará completamente escura, afinal metade dos pontos de iluminação de uma rua ficarão com 50% da luminosidade.

As simulações na maquete foram baseadas nos dados obtidos nos dois pontos de coleta pelo primeiro dispositivo. Com isso foram simuladas seis situações, as três descritas a cima com os dados dos dois pontos de coleta. Estipulou-se que, ao detectar alguma movimentação, todos os postes ligariam com 100% da capacidade por 5 minutos, retornando, posteriormente, ao estado inicial, dependendo da situação: ficando todos os minipostes apagados; todos com 50% da tensão; ou 50% das luminárias desligadas e a outra metade operando com 50% da tensão.

Baseado no sensor de luminosidade instalado no primeiro dispositivo, verificou-se que as luminárias deveriam trabalhar por cerca de 10 horas, das 19 horas até as 5h da manhã. Porém os dados foram coletados no final da primavera, quando o dia é maior do que a noite. Durante o inverno, as luminárias devem trabalhar por mais de 12h. Por isso optou-se estipular 12h de trabalho, o que deve representar a média anual.

Com isso, no ponto 1, as luminárias dos postes devem trabalhar a 100%, por 45 minutos por noite, uma vez que a média do ponto 1 foi de 9 transeuntes vezes 5 minutos de acionamento. Já no ponto 2, com média diária de 27 transeuntes, as luminárias trabalhariam com 100% da capacidade por 2 hora e 15 minutos. Para fins de cálculo, utilizou-se as informações de Ramli *et al.* (2015), que aponta que cada lâmpada de vapor de sódio tem uma potência de 400W, já as lâmpadas de LED, também com base em Ramli *et al.* (2015), trabalham com uma potência de 200W.

Para calcular o consumo de eletricidade nos momentos em que não há movimentação na rua, foi medida a corrente elétrica do miniposte com 50% da tensão e verificou-se uma corrente de 11mA (miliampéres), enquanto que com 100% da tensão a corrente é de 22mA (miliampéres). Sabendo a tensão de trabalho do miniposte de LED, 3V, e a sua corrente com 100% e 50% da tensão, é possível, com uma regra de três, calcular a corrente da luminária de

LED utilizada nos pontos de iluminação pública e, conseqüentemente, sua potência projetada, que é de 50W (com 50% da tensão).

Dessa forma, foi possível montar a Tabela 3, que apresenta o consumo de energia elétrica nas três abordagens, para um sistema de 32 lâmpadas, além do consumo do sistema com lâmpadas de vapor de sódio e de LED sem o dispositivo de automação das luminárias.

Tabela 3 – Consumo de energia em uma noite com sistema clássico, com lâmpadas de LED e os três sistemas otimizados de iluminação para 32 luminárias

	Ponto de coleta 1	Ponto de coleta 2
a) Lâmpadas de vapor sódio ligadas por 12 horas	153,6 kWh	153,6 kWh
b) Lâmpadas de LED ligadas por 12 horas	76,8 kWh	76,8 kWh
c) Lâmpadas de LED com 50% da tensão quando não há movimento	22,8 kWh	30 kWh
d) Lâmpadas de LED apagadas quando não há movimento	12 kWh	21,6 kWh
e) Metade das lâmpadas de LED apagadas e metade com 50% da tensão	13,8 kWh	22,2 kWh

Fonte: Autor (2021).

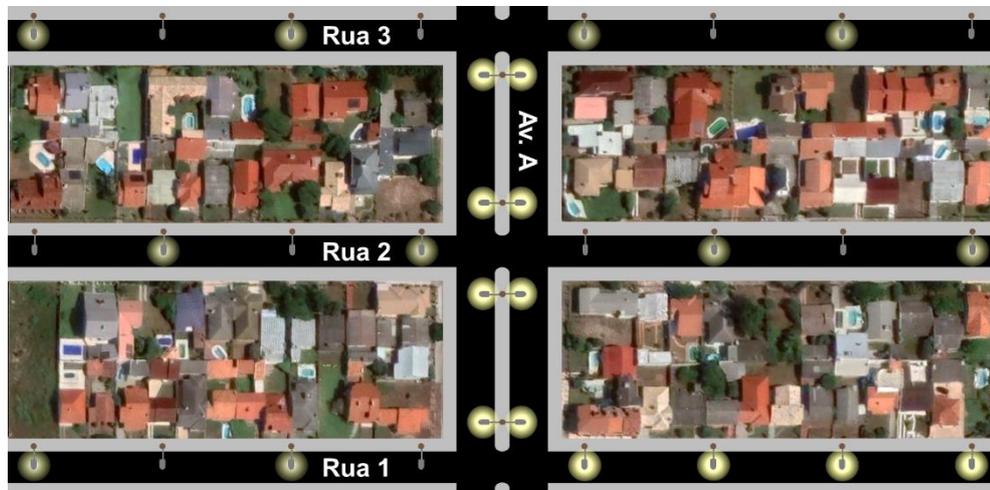
Para elaborar a Tabela 3 considerou-se, no primeiro caso (a), 32 lâmpadas de 400W ligadas por 12h, representando 153,6kWh. No caso (b), 32 lâmpadas de LED de 200W ligadas por 12h, afim de estabelecer um controle, que consomem 76,8kWh. No terceiro caso (c) admite-se as mesmas lâmpadas de LED, porém com 50% da tensão por 11 horas e 15 minutos no ponto de coleta 1 e 9 horas e 45 minutos no ponto 2, somados aos 45 minutos e as 2 horas e 15 minutos com 100% da força de trabalho, respectivamente, totalizando 22,8kWh e 30kWh.

Para o quarto caso (d) utilizou-se 45 minutos com 100% da potência no ponto 1 de coleta e 2 horas e 15 minutos no segundo ponto, além de três luminárias, uma em cada esquina, que ficaram ligadas por 12h, uma vez que, nesse caso, quando não há detecção de movimento, as demais lâmpadas se apagam, com isso o consumo foi de 12 kWh e 21,6 kWh, respectivamente. No quinto e último caso (e) considerou-se 16 lâmpadas com 50% da tensão e 16 apagadas por 11 horas e 15 minutos no ponto de coleta 1 e 9 horas e 45 minutos no ponto de coleta 2, somados, respectivamente, com 45 minutos e 2 horas e 15 minutos de 32 lâmpadas com 100% da tensão, resultando em 13,8kWh no primeiro ponto de coleta e 22,2kWh no segundo ponto.

A Figura 14 representa a última situação (e) em uma maquete virtual, nessa simulação um veículo atravessou toda a Avenida A e entrou na Rua 1, fazendo com que todas as luminárias da avenida fossem ligadas com 100% da capacidade, enquanto que na Rua 1, metade da rua também ficou com as lâmpadas em 100% e a outra metade da rua, onde não foi detectado

movimento, os postes intercalaram, mantendo algumas luminárias com 50% da potência e as outras permaneceram desligadas.

Figura 14 – Representação da maquete com luminárias desligadas e ligadas com 50% e 100% da tensão



Fonte: Autor (2021).

Para fazer a simulação na maquete utilizou-se duas abordagens, a primeira situação faz o controle das luminárias da maquete através dos dados coletados em via pública, ou seja, através da programação do microcontrolador foi predeterminado qual LED deveria apagar ou ter a tensão reduzida e quanto tempo deveriam ficar com 100% da tensão, de acordo com o tempo coletado pelo primeiro dispositivo. Dessa maneira foi possível calcular o consumo de energia elétrica nas três situações descritas anteriormente, além de ter uma visualização das condições de iluminação.

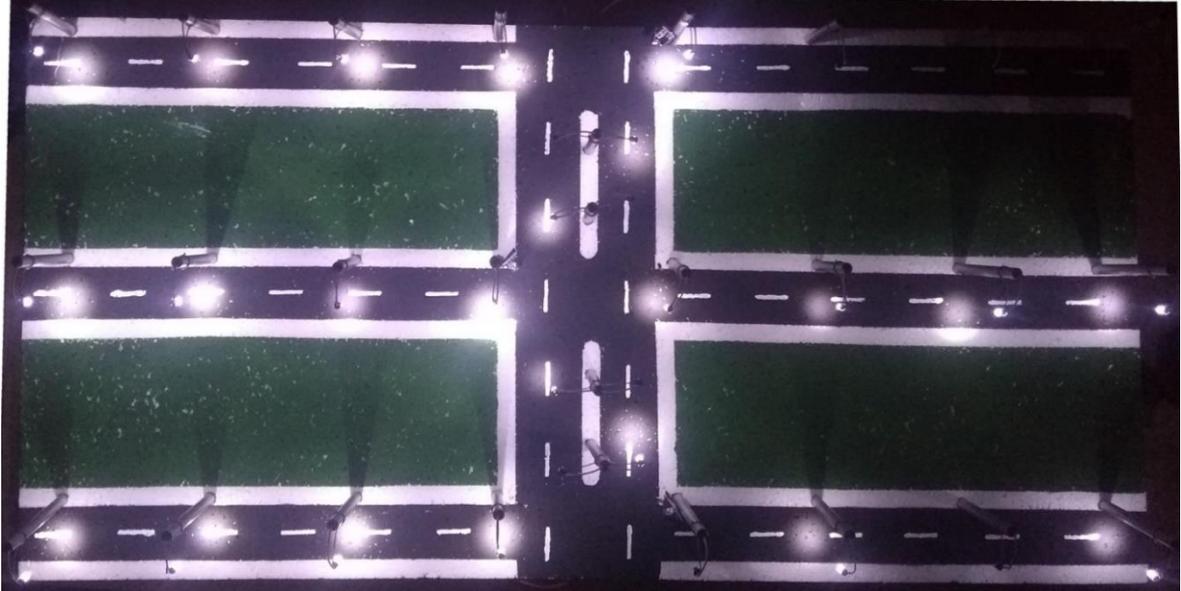
A segunda abordagem é mais lúdica, utiliza sensores de presença nas esquinas da maquete, simulando uma situação mais realista, para isso, alterou-se a programação dos Arduinos para que mantenham todos os LEDs apagados ou com 50% da potência, ao detectar movimento em uma das esquinas, o microcontrolador liga com 100% da potência todos os postes da respectiva rua e os mantém ligados por um minuto.

Na Figura 15 é possível ver a maquete em funcionamento com uma programação especial de forma a representar as três abordagens investigadas no presente trabalho. Para melhor visualizar a diferença entre os modelos propostos e a iluminação plena, metade de todas as ruas estão em funcionamento pleno, ou seja, com as luminárias com 100% da tensão.

Na outra metade da primeira rua todas as lâmpadas permanecem desligadas enquanto não é detectado movimentação, com exceção da luminária de esquina. Na segunda rua utiliza-se o conceito da primeira abordagem, manter todas as luminárias com 50% da tensão enquanto

não há movimento, já a terceira rua, assim como a avenida, são resultados da soma dos dois métodos, metade das luminárias ficam desligadas enquanto a outra metade trabalha com 50% da tensão.

Figura 15 – Maquete com postes desligados e ligados com 50% e 100% da tensão de trabalho



Fonte: Autor (2021).

Dessa forma, foi possível obter seis resultados distintos, provenientes de três abordagens em dois locais diferentes, além dos resultados calculados para os controles, com lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas de LED. O próximo capítulo visa analisar e comparar os resultados, afim de qualificar quais são os que tiveram maior redução de consumo elétrico e quais melhores se adaptam a realidade brasileira, principalmente das pequenas cidades.

## 5 ANÁLISE

A partir dos resultados obtidos no capítulo anterior, foi feita uma análise comparativa entre os seis resultados e com os dois trabalhos que fundamentaram o referencial teórico da presente pesquisa, a dissertação de mestrado da Pinto (2015) e o artigo de Ramli *et al.* (2015).

Inicialmente foi feita uma análise entre as três abordagens estudadas com relação aos dois controles, lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas de LED sem otimização do sistema de acionamento. Dessa forma, foi elaborada a Tabela 4, que mostra qual foi a redução do consumo de energia elétrica, em porcentagem, nas três abordagens em relação as duas situações piloto, lâmpada de vapor de sódio e de LED, sem a otimização do acionamento das lâmpadas.

Tabela 4 – Economia de energia elétrica das três situações testadas em relação aos dois controles

	Ponto de coleta 1		Ponto de coleta 2	
	Sódio	LED	Sódio	LED
c) Lâmpadas de LED com 50% da tensão quando não há movimento	85,15%	70,31%	80,46%	60,93%
d) Lâmpadas de LED apagadas quando não há movimento	92,18%	84,37%	85,93%	71,87%
e) Metade das lâmpadas de LED apagadas e metade com 50% da tensão	91,01%	82,03%	85,54%	71,09%

Fonte: Autor (2021).

Para chegar aos valores da Tabela 4 será detalhado apenas o caso (c), a diferença do consumo entre as lâmpadas de LED com 50% da tensão quando não há movimento e as lâmpadas de vapor de sódio. Foi subtraído o consumo, de uma noite, das lâmpadas de LED (22,8kWh) do consumo das lâmpadas de vapor de sódio (153,6kWh), o resultado (130,8kWh) foi dividido pelo consumo das lâmpadas de sódio e multiplicado por 100, para se obter o valor em porcentagem (85,15%). Procedeu-se da mesma forma para fazer a comparação entre as três situações dos dois pontos de coleta e os dois controles, lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas de LED sem a otimização do sistema de controle.

É possível perceber que a maior redução do consumo de energia elétrica aconteceu na situação em que as lâmpadas ficam apagadas quando não há detecção de movimento, com exceção das luminárias de esquina (d), chegando a mais de 92% de economia em relação as lâmpadas de vapor de sódio e 84,37% em relação as lâmpadas de LED que ficaram ligadas por 12h, ambos dados de acordo com o primeiro ponto de coleta.

A diferença entre os dois últimos métodos (d) e (e) é muito pequena em relação ao

consumo de energia elétrica, entretanto na última situação (e) a cidade fica mais iluminada, postes intercalados entre desligados e ligados com 50% da tensão iluminam mais e de forma mais homogênea do que todos os postes apagados e apenas as esquinas iluminadas. O que leva a conclusão de que é mais vantajoso investir em mais sensores para se ter uma captação de movimento mais precisa, não apenas nas esquinas, como foi proposto por Ramli *et al.* (2015).

Ramli *et al.* (2015) utilizaram 12 lâmpadas para elaborar o artigo, também foi estabelecido dois controles com lâmpadas de vapor de sódio e de LED ligadas por 12h. Para montar o experimento, os autores estipularam que quatro luminárias ficariam 12h ligadas (nas esquinas) e oito lâmpadas seriam acionadas de acordo com o movimento, foi arbitrado que os pontos de luz seriam acionados durante 9h, o que representa um fluxo bastante intenso. Dessa forma os autores calcularam que a economia de energia foi de 58,33% em relação as lâmpadas de vapor de sódio e de 16,67% se comparado com as lâmpadas de LED ligadas por 12h.

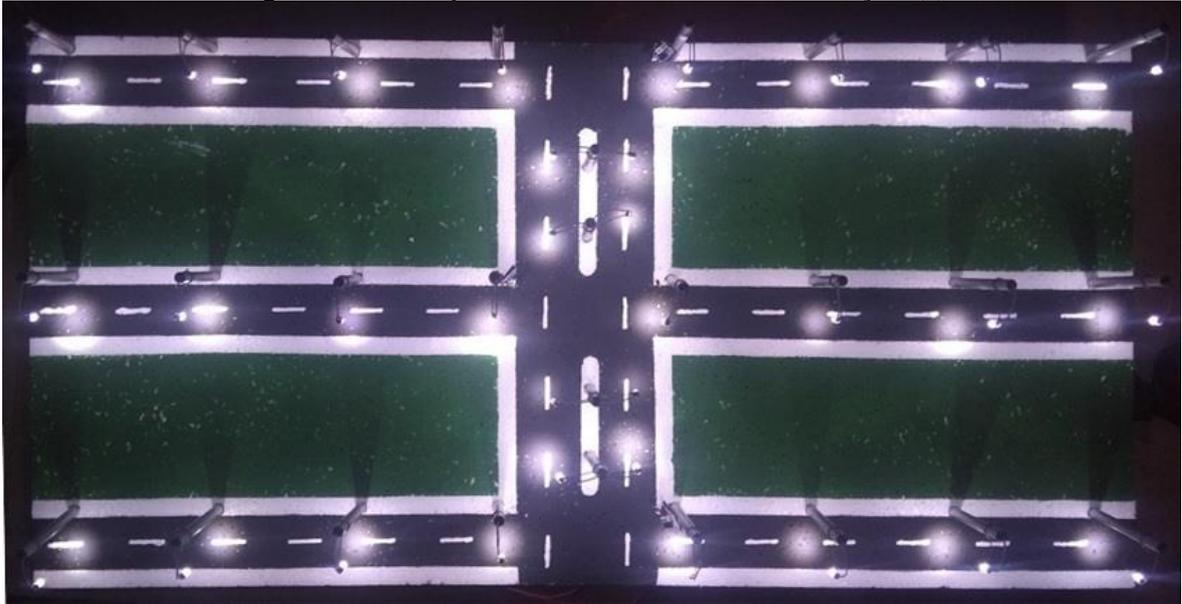
A relação entre luminárias acionadas pelo movimento (8) e aquelas que ficam ligadas nas esquinas (4) é maior do que a relação do presente trabalho, no qual apenas três lâmpadas ficaram ligadas toda a noite enquanto que 29 eram acionadas pelo movimento. Ao aumentar essa relação para seis lâmpadas sempre ligadas e 26 ligadas pelo fluxo, o consumo fica maior do que a última situação testada (e), no qual metade das luminárias apagam e a outra metade permanece em 50% da tensão.

Dessa forma, é possível concluir que é mais vantajoso, tanto economicamente quanto na questão da iluminação, adotar um sistema de controle de intensidade luminosa do que um sistema de iluminação binária. Isso acontece porque ao se reduzir pela metade a tensão de entrada da lâmpada a potência é reduzida quatro vezes e a corrente cai pela metade.

Apenas a substituição das lâmpadas de vapor de sódio por lâmpadas de LED pode resultar em uma economia de 50%. Elaborar e implementar um sistema em que grande parte da cidade ficará completamente escura sem trazer grande economia de energia elétrica não é uma proposta muito viável. O fluxo em via pública estabelecido por Ramli *et al.* (2015) é bastante intenso, das 12h, as luminárias ficaram apagadas apenas durante 3h. Já o fluxo medido no presente trabalho é muito menor, mesmo no segundo ponto de coleta, entretanto esse conceito de monitorar o fluxo pelas esquinas e apagar as luminárias quando não há movimento apresentou resultados aquém em relação ao último teste (e).

Pinto (2015) definiu, em sua dissertação, que o fluxo de transeuntes resultaria em 50% do tempo total de luminárias trabalhando com 100% da tensão, na outra metade do tempo (6h) todas as lâmpadas ficaram com metade da tensão de trabalho. Aplicou-se essa mesma situação no presente trabalho, como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 – Lâmpadas com 50% da tensão, situação (c)

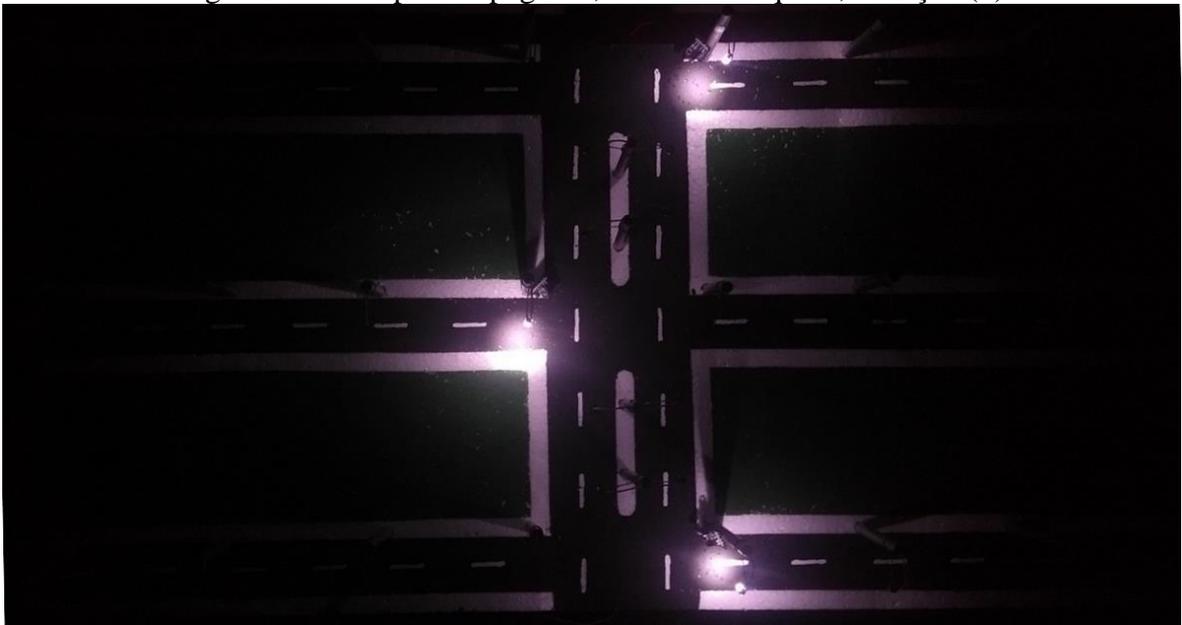


Fonte: Autor (2021).

Esse teste apresenta um consumo de 48kWh em uma noite, o que representa 68,75% mais econômico do que lâmpadas de sódio ligadas por 12h, ou 37,5% em relação as lâmpadas de LED com 12h de trabalho.

Para fins de comparação, será utilizada essa mesma situação estabelecida por Pinto (2015), em que 50% do tempo os sensores detectaram movimento, e aplicada a nossa quarta situação (d). No qual as luminárias trabalham em força plena por 6h, no restante do tempo ficam apagadas, com exceção das três lâmpadas de esquina, como pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 – Lâmpadas apagadas, exceto da esquina, situação (d)

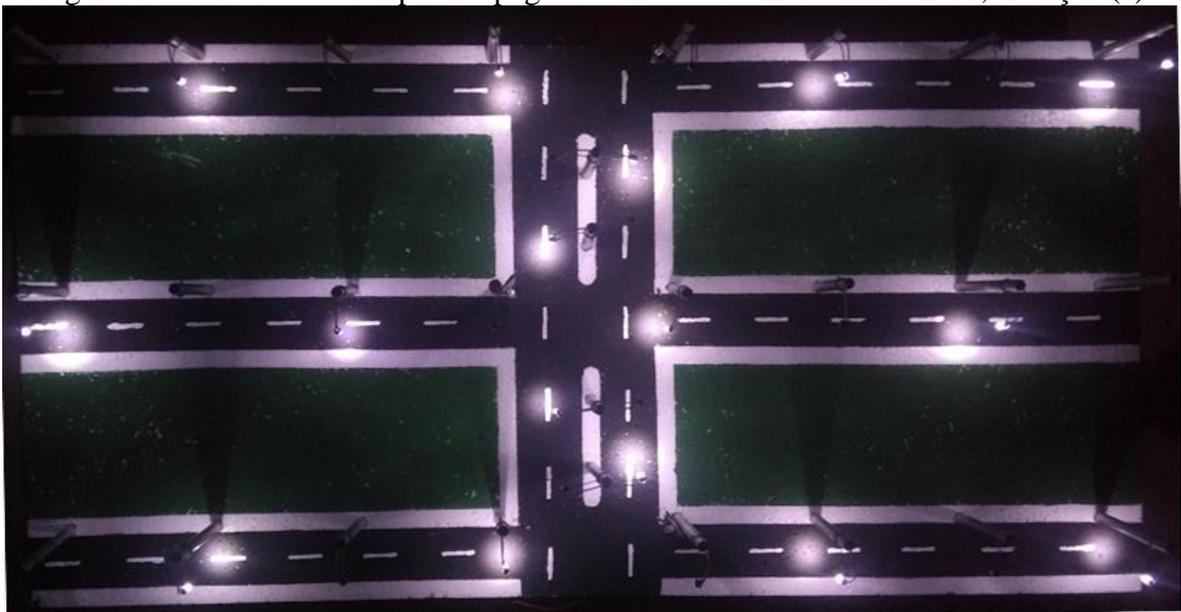


Fonte: Autor (2021).

Em uma situação como a apresentada na Figura 16, o consumo será de 42kWh por noite, valor abaixo da situação anterior, porém muito próximo. O que leva a conclusão de que manter as luminárias com metade da tensão é mais vantajoso do que desligar a maioria e deixar apenas algumas poucas trabalhando com a tensão nominal.

Por fim, será empregado o mesmo exemplo na última situação (e), ou seja, durante 6h todos os postes ligados, e nas outras 6h, 16 lâmpadas desligadas e 16 trabalhando com metade da tensão, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Metade das lâmpadas apagadas e metade com 50% da tensão, situação (e)



Fonte: Autor (2021).

Dessa forma, o consumo, em uma noite, será de 43,2 kWh, resultado muito próximo do último teste (d). Por óbvio, essa situação é mais econômica do que a situação (c), em que todas as lâmpadas permanecem ligadas com 50% da tensão, entretanto a surpresa está ao se comparar com a situação (e). Os resultados são tão próximos que, se aumentar para seis o número de luminárias ligadas a noite toda, essa situação já deixa de ser a mais econômica. Dessa maneira, é mais econômico manter 16 lâmpadas ligadas com metade da tensão do que ter apenas seis lâmpadas com 100% da tensão, quando não há detecção de movimento.

Esses dados podem ser melhor visualizados na Tabela 5, que compila os resultados das três situações (c), (d) e (e), com 50% do tempo das luminárias em funcionamento pleno e as 6h restantes de acordo com o experimento.

Tabela 5 – Consumo de energia elétrica das situações testadas em 50% de tempo com tensão nominal

Situação teste	Consumo
c) Lâmpadas de LED com 50% da tensão	48 kWh
d) Lâmpadas de LED apagadas	42 kWh
e) Metade das lâmpadas de LED apagadas e metade com 50% da tensão	43,2 kWh

Fonte: Autor (2021).

Pinto (2015) não apresenta os resultados em relação ao consumo, uma vez que não era seu objetivo, seu foco era apresentar os dados referente ao custo de produção de um sistema de monitoramento e controle da rede elétrica, incluindo as luminárias, e calcular em quanto tempo o sistema seria pago com a economia gerada pela sua implementação. Dessa forma, não é possível fazer uma comparação direta entre os seus resultados e os apresentados neste trabalho. Porém a autora conclui que, mesmo com o acionamento total das lâmpadas em 50% do tempo, o sistema é um investimento mais rentável do que a caderneta de poupança, ou seja, mesmo onde há fluxo intenso o sistema é viável.

Pinto (2015) afirma, ainda, que 50% do tempo de operação é o limite para garantir o retorno do investimento, ou seja, se o fluxo em via pública for responsável por acionar as lâmpadas por mais do que 50% do tempo de operação de uma noite o sistema torna-se inviável, é mais vantajoso manter as luminárias de LED ligadas a noite toda do que investir em um sistema de automação do acionamento.

Entretanto um sistema de iluminação em que metade das lâmpadas diminuam a intensidade luminosa e as demais se apaguem quando não há movimentação pode funcionar com um movimento maior do que 50%. Uma vez que a economia de energia será maior, assim como o tempo de vida das lâmpadas, afinal seu tempo de vida é determinado pelas horas em que ela fica ligada. Se houver uma alternância em quais lâmpadas ficam desligadas e quais trabalham com 50% da tensão, então a vida útil de todas as lâmpadas serão prolongadas, o que afeta diretamente o cálculo da viabilidade de implementação do sistema de automação das luminárias.

Por fim, é possível concluir que os dados de fluxo de transeuntes coletados são bastante discrepantes daqueles estabelecidos por Ramli *et al.* (2015) e Pinto (2015). Isso se dá pela diferença de abordagem, enquanto os autores projetavam um intenso fluxo urbano, o presente trabalho investigou o fluxo de uma pequena cidade. Dessa forma, é possível afirmar que qualquer sistema e automação das luminárias testado na presente pesquisa é viável em cidade com baixa densidade demográfica.

Ademais, o método proposto, metade das lâmpadas de LED apagadas e metade com 50% da tensão, pode ser executável em grandes cidades, com até mais de 50% do tempo de acionamento pleno, o que representa um fluxo intenso. Pode não ser viável em avenidas de grandes centros urbanos, no entanto pode ser exequível em bairros residenciais desses mesmos centros urbanos.

## 6 CONCLUSÃO

A hipótese de controlar o acionamento das luminárias públicas a fim de reduzir o consumo de energia elétrica se mostrou viável. A primeira experiência prática, que visava investigar o fluxo de transeuntes, mostrou que o movimento em cidades pequenas é muito abaixo do que a literatura estabelece para as grandes cidades. Isso se dá pela diferença de abordagem, os autores pesquisados não investigaram o fluxo em via pública, apenas estipularam um intenso fluxo que representaria uma grande cidade, enquanto que a presente pesquisa mensurou a intensidade do fluxo em uma cidade pequena. De acordo com os dados coletados no ponto 1, exige-se iluminação em apenas 6,25% do tempo de trabalho das luminárias, ou seja, na maior parte do tempo de trabalho, as lâmpadas não têm necessidade de estarem ligadas.

Com esses dados coletados, além daqueles retirados da literatura científica, foi possível fazer simulações na maquete e concluiu-se que é mais vantajoso adotar um sistema de controle de intensidade luminosa do que um sistema binário, que apenas liga e desliga a lâmpada. Não apenas por questões econômicas, mas também por conforto e segurança, uma vez que a cidade fica mais homoganeamente iluminada dessa forma do que com a maioria das lâmpadas desligadas e apenas algumas com 100% da tensão.

Apoiando-se na literatura apresentada no segundo capítulo do presente trabalho, ficou constatado que a situação proposta, luminárias que se intercalam entre apagadas e com 50% da tensão nominal, pode funcionar até mesmo em grandes cidades. Isso só é possível com o controle individual de cada lâmpada. O que se faz crer que é mais válido investir em um sistema de sensoriamento mais preciso e uniformemente espalhado pelas ruas do que apenas nas esquinas. Mesmo que isso gere um custo a mais para implementação do sistema, o sensoriamento é um gasto irrisório frente ao retorno financeiro que será proporcionado.

A maquete elaborada para este estudo mostrou-se valiosa para testar e melhor visualizar as hipóteses, entretanto o dispositivo de coleta de dados de fluxo urbano foi essencial para mensurar a quantidade de tráfego. O trânsito se mostrou muito menor do que o esperado, mesmo para uma cidade pequena e sazonal, e menor ainda daqueles encontrados em trabalhos acadêmicos. Com isso é possível inferir que a otimização de sistemas de iluminação pública pode resultar em uma economia de energia maior do que a prevista pela academia científica.

Os dados referentes a quantidade de energia elétrica que pode ser economizada são expressivos, principalmente para cidades pequenas, onde o fluxo em via pública é menos intenso e a proporção entre moradores e postes é maior, ou seja, há mais postes por moradores.

Entretanto áreas residenciais das grandes cidades também podem se beneficiar com a implementação de um sistema de automação das luminárias.

No presente trabalho utilizou-se o conhecimento de diversos componentes curriculares do curso superior em Automação Industrial, dentre eles: Programação, Circuitos Elétricos, Eletrônica Digital, Microprocessadores, Instrumentação, Sistemas de Controle, entre outros. Caracterizando assim um trabalho que conclui o curso (TCC).

Este trabalho propôs um estudo inicial sobre uma possível implementação de um sistema para otimizar as luminárias públicas, para futuras pesquisas na área, sugere-se a investigação de sensores e demais componentes que podem ser ligados ao microcontrolador. Tentar descobrir qual é o melhor sensor de presença para uso urbano, além de mensurar quantos e qual a melhor posição para instalá-los.

Também é importante tentar agregar novas funcionalidades para o microcontrolador, instalando sensores de temperatura, pressão e humidade é possível ter uma miniestação meteorológica em cada poste.

Estudar a aplicabilidade da disponibilização de sinal de internet sem fio para população, ou monitorar a rede elétrica, para evitar e localizar pontos com problema na rede, são alguns exemplos de novas aplicabilidades para os microcontroladores em postes de luz.

## REFERÊNCIAS

- AGUERA, Roger Saraiva. **Cenário brasileiro da iluminação pública**. 2015. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica Com Ênfase em Sistemas de Energia e Automação, Departamento de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-19042016-113314/?&lang=br>. Acesso em: 1 set. 2020.
- CAXIAS DO SUL. Prefeitura de Caxias do Sul. Secretaria Municipal de Obras e Serviços. **Prefeitura investe R\$ 1,6 milhão em aquisição de luminárias LED: modernização melhora eficiência da iluminação pública nos pontos instalados**. Modernização melhora eficiência da iluminação pública nos pontos instalados. 2019. Disponível em: <https://caxias.rs.gov.br/noticias/2019/02/prefeitura-investe-1-6-milhao-em-aquisicao-de-luminarias-led>. Acesso em: 21 set. 2020.
- CBIE, Centro Brasileiro de Infraestrutura. **Como a eletricidade é consumida no Brasil?** 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/como-a-eletricidade-e-consumida-no-brasil>. Acesso em: 18 set. 2020.
- COSTA, Fabio. **História do Arduino** – como surgiu esta incrível plataforma de prototipagem eletrônica. 2020. Disponível em: <https://fabiocosta.net/arduino/historia-do-arduino/>. Acesso em: 01 dez. 2020.
- DALLABRIDA, Emanuel Cristiano; GONÇALVES, Claudia Maria; PIOVESAN, Tenile Rieger. ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM LÂMPADAS INCANDESCENTES, FLUORESCENTES E LED. In: XXIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 23., 2015, Ijuí. **Proceedings [...]**. Ijuí: Unijui, 2015. p. 1-6. Disponível em: <https://docplayer.com.br/25603151-Analise-comparativa-da-eficiencia-energetica-em-lampadas-incandescentes-fluorescentes-e-led-1-1.html>. Acesso em: 21 out. 2020.
- FARINA, Jocimar. **Justiça manda, novamente, prefeitura reconsiderar decisão sobre PPP da iluminação de Porto Alegre. Zero Hora**. Porto Alegre, p. 1-1. 1 abr. 20. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2020/04/justica-manda-novamente-prefeitura-reconsiderar-decisao-sobre-ppp-da-iluminacao-de-porto-alegre-ck8hcyzxs00f001pmvnnisudu.html>. Acesso em: 14 out. 2020.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- G1. **Trio ganha Nobel de Física por viabilizar uso de LED para iluminação**. 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2014/10/trio-ganha-nobel-de-fisica-por-invencao-de-luz-que-economiza-energia.html>. Acesso em: 04 nov. 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/xangri-la.html>. Acesso em: 13 nov. 2020.
- KASSAI, José Roberto. Conciliação entre a TIR e ROI: uma abordagem matemática e contábil do retorno do investimento. **Cad. estud.** São Paulo, n. 14, p. 1-29, Dec. 1996. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-92511996000200003](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-92511996000200003). Acesso em: 01 dez. 2020.
- LIMA, Renato F. Boreal Led. **A história da lâmpada elétrica: lâmpada incandescente**.

Lâmpada incandescente. 2016. Disponível em: [https://www.borealled.com.br/historia-lampada-eletrica-incandescente?fb\\_comment\\_id=1088456464596644\\_1506326046143015](https://www.borealled.com.br/historia-lampada-eletrica-incandescente?fb_comment_id=1088456464596644_1506326046143015). Acesso em: 4 nov. 20.

LIMA, Renato F. **O que é LED?** A história do Diodo Emissor de Luz. 2018. Disponível em: <https://blog.borealled.com.br/o-que-e-led/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

MARTINS, Gustavo. **Farroupilha implementa projeto de modernização da iluminação pública com LED:** a operação, que custou cerca de R\$ 1,2 milhão, tem previsão de ser finalizada em novembro. **Pioneiro**. Caxias do Sul, p. 1-1. 7 out. 2020. Disponível em: <http://pioneiro.clicrbs.com.br/rs/geral/noticia/2020/10/farroupilha-implementa-projeto-de-modernizacao-da-iluminacao-publica-com-led-14228922.html>. Acesso em: 14 out. 2020.

MINISTÉRIO DA CIDADANIA. **Conheça os diferentes tipos de lâmpadas.** 2020. Disponível em: <https://museuweg.net/blog/conheca-os-diferentes-tipos-de-lampadas/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

PINTO, Milena Faria. **Sistema inteligente para monitoração, gerenciamento e controle de iluminação pública e análise de parâmetros da rede elétrica.** 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/361>. Acesso em: 21 out. 2020.

PORTO ALEGRE. Jackson Lagoas. Gabinete do Prefeito. **Porto Alegre inicia modernização do parque de iluminação pública.** 2020. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/gp/noticias/porto-alegre-inicia-modernizacao-do-parque-de-iluminacao-publica>. Acesso em: 14 out. 2020.

QUALIDADEONLINE. **As lâmpadas incandescentes vão sair do mercado em 2016.** 2011. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2011/02/15/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

RAMLI, N. L.; YAMIN, N. Mohd; GHANI, S. Ab; SAAD, N. Md.; SHARIF, S. A. Md. Implementation of passive infrared sensor in street lighting automation system. **ARNP Journal Of Engineering And Applied Sciences**, [s. l], v. 10, n. 22, p. 17120-17126, dez. 2015. Disponível em: [http://www.arnpjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2015/jeas\\_1215\\_3138.pdf](http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_1215_3138.pdf). Acesso em: 14 set. 2020.

REBOUÇAS FILHO, Pedro Pedrosa. **Microcontroladores PIC:** linguagem C utilizando CCS para leigos. 1 ed. IFCE, Maracanaú, 2014.

REIS, Fábio dos. **Como funciona um LED** – Diodo Emissor de Luz. 2019. Disponível em: <http://www.bosontreinamentos.com.br/electronica/curso-de-electronica/como-funciona-um-led-diodo-emissor-de-luz/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

REIS, Tiago. **Payback:** entenda como calcular o prazo de retorno de um investimento. 2019. Disponível em: <https://www.sunoresearch.com.br/artigos/payback/>. Acesso em: 01 dez. 2020.

RODRIGUES, Leandro. **Cidades gaúchas são habilitadas para projetos de iluminação pública. Zero Hora.** Porto Alegre, p. 1-1. 3 jun. 2020. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/06/cidades-gauchas-sao-habilitadas-para->

projetos-de-iluminacao-publica-ckazzur6x00jy015nomqrsrg50.html. Acesso em: 14 out. 2020.

SUPER INTERESSANTE. **Como funciona a lâmpada fluorescente?** 2011. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-funciona-a-lampada-fluorescente/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 4 ed. Érica, 2008.

WAIDE, Paul. **Phase out of incandescent lamps**: implications for international supply and demand for regulatory compliant lamps. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/5kmh3nhp62s0-en>. Acesso em: 10 out. 2020.

WAYMOUTH, J. F., LEVIN, R. E. **Designers Handbook, Light Sources and Applications**, Sylvania GTE Products, Danvers, 1980.