



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**Ricardo Guedes Accioly Ramos**

**DM: 02/2022**

**ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM MEDIÇÃO PONTO A PONTO E  
GERENCIAMENTO REMOTO:  
UMA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA SMART**

UFPA / ITEC / PPGEE

Belém – Pará - Brasil

2021



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**Ricardo Guedes Accioly Ramos**

**ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM MEDIÇÃO PONTO A PONTO E  
GERENCIAMENTO REMOTO:  
UMA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA SMART**

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Sistemas de Energia Elétrica.

Orientador (a):

**Professora Doutora Maria Emília de Lima Tostes.**

**UFPA / ITEC / PPGEE**

**Belém – Pará - Brasil**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBDSistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

R175i Ramos, Ricardo Guedes Accioly.

Iluminação pública com medição ponto a ponto e gerenciamento remoto : uma evolução tecnológica smart / RicardoGuedes Accioly Ramos. — 2021.

84 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Emília de Lima Tostes  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Elétrica, Belém, 2021.

1. Iluminação Pública. 2. Cidades Inteligentes. 3. Telegerenciamento. I. Título.

CDD 621.3

---



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
“ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM MEDIÇÃO PONTO A PONTO E GERENCIAMENTO  
REMOTO: UMA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA SMART”**

**AUTOR: RICARDO GUEDES ACCIOLY RAMOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

APROVADA EM: 26/01/2022

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Emília de Lima Tostes**  
(Orientadora – PPGEE/UFPA)

---

**Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra**  
(Avaliador Interno – PPGEE/UFPA)

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carminda Célia Moura de Moura Carvalho**  
(Avaliadora Externa ao Programa – FEEB/UFPA)

(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

---

**Prof. Dr. Edson Ortiz de Matos**  
(Avaliador Externo ao Programa – FEEB/UFPA)

**VISTO:**

---

**Prof. Dr. Carlos Tavares da Costa Júnior**

(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

## **DEDICATÓRIA**

À minha esposa Heleni, e aos meus filhos Victor e Tales pelo apoio e amor incondicional.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter chegado até aqui.

À minha esposa e filhos pelo incessante apoio durante esta jornada.

Aos meus familiares, que de diversas formas contribuíram na minha trajetória.

À minha orientadora, professora Dra. Maria Emília de Lima Tostes, por ser para mim, uma referência profissional.

Ao meu professor Dr. Ubiratan Holanda Bezerra, pelo compartilhamento de conhecimento durante o curso.

Ao, Engenheiro Eletricista Luiguy Xavier de Lima, por ter colaborado no desenvolvimento do protótipo e o apoio necessário na área de Telecomunicações.

## **EPÍGRAFE**

“Primeiro eu descobro o que o mundo precisa depois invento.”

**Thomas Edson**

## RESUMO

Atualmente o conceito de *SMART CITY*, se consolida como sendo uma cidade inteligente por dispor de tecnologia para desenvolvimento sustentável, respeito ao meio ambiente e melhoria da qualidade de vida. Para implantação de uma tecnologia com tal abrangência, pode-se fazer uso de uma estrutura existente da Iluminação Pública, transformando um sistema utilizado para iluminação noturna, em uma plataforma dinâmica, proporcionando uma conexão com outros sistemas, capaz de oferecer serviços como, segurança pública, poluição sonora, qualidade do ar, entre outros. Este trabalho propõe, uma tecnologia de baixo custo e perdas pequenas de energia, apresentando como objetivo, o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de aquisição de dados para medição ponto a ponto, contemplando a comunicação com um sistema de gerenciamento geral da Iluminação Pública municipal para o monitoramento, diminuição de custos com operação e manutenção, contribuindo para uma possível discussão da diminuição do valor da Contribuição para o Custeio de Iluminação Pública (COSIP). Esta tecnologia pode alterar o faturamento da COSIP, a qual é calculada com base em estimativa de consumo de energia da Iluminação Pública, podendo gerar economia ao consumidor. A pesquisa especifica o protótipo com capacidade para medir parâmetros elétricos, fazer comunicação entre o módulo de medição e o processador e tornar os dados disponíveis em rede Wi-Fi, capaz de serem adquiridos por um servidor, que processa dados e envia o comando de volta para as ações. Este recurso é analisado por meio de experimento e os resultados são tratados para conclusões finais sobre o tema.

**Palavras-chave:** Iluminação Pública, Cidades Inteligentes, Telegerenciamento.



## ABSTRACT

The concept of smart city, refers to the availability of technology for sustainable development, respect for the environment and improving the quality of life. For the implementation of a technology with such scope, you can do use of a structure existing public lighting, transforming a system used for night lighting, on a platform dynamic, providing a connection with other systems, offering services such as public safety, pollution sound, air quality, among others. This work proposes, a technology of low cost and losses, presenting as objective, the development of a prototype of a data acquisition system for point-to-point measurement, contemplating the communication with a general management system of municipal Public Lighting for the monitoring, reduction of costs with operation and maintenance, contributing to a possible discussion of the decrease in the value of the Contribution to the Cost of Public Lighting (COSIP). It is technology he can change the COSIP billing, which is calculated based on estimation of energy consumption of Public Lighting, being able to generate economy to the consumer. the search specifies the prototype capable of measuring \_ parameters electric make \_ communication between the measurement module and the processor and make the information available in a Wi-Fi network, capable of being acquired by a server, which processes data and sends the command back to actions. This resource is analyzed through an experiment and the \_ results are treaties to conclusions finals about the topic.

**Keywords:** Street Lighting, Smart Cities, Telemanagement.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Intelligent Street Lighting (Iluminação Inteligente de vias Públicas) .....                             | 10 |
| <b>Figura 2:</b> 5G oferece uma “estrada” com mais vias para transmissão de dados, aumentando velocidade .....           | 11 |
| <b>Figura 3:</b> A origem da iluminação pública .....  | 15 |
| <b>Figura 4:</b> Topologia de um conversor boost PFC .....   | 20 |
| <b>Figura 5:</b> Tempo específico para faturamento da iluminação pública de acordo com a latitude de cada município..... | 25 |
| <b>Figura 6:</b> Equilíbrio tarifário .....  | 27 |
| <b>Figura 7:</b> Progressão da infraestrutura de iluminação pública inteligente .....                                    | 31 |
| <b>Figura 8:</b> A evolução das comunicações móveis .....  | 34 |
| <b>Figura 9:</b> Máxima velocidade teórica .....   | 35 |
| <b>Figura 10:</b> Fluxo de dados do sistema .....  | 39 |
| <b>Figura 11:</b> TC: 1.000/1, 10 Ohms, (0 – 100 A) taxa de erro de 1% .....   | 40 |
| <b>Figura 12:</b> Módulo de comunicação AC PZEM-004T-100 A .....   | 41 |
| <b>Figura 13:</b> Módulo de Comunicação .....  | 42 |
| <b>Figura 14:</b> Diagrama de Bloco de um Medidor Eletrônico .....   | 43 |
| <b>Figura 15:</b> PZEM-004T-100A – esquema de ligação.....   | 43 |
| <b>Figura 16:</b> Fonte chaveada 5 Volts (DC) – 1 A.....   | 44 |
| <b>Figura 17:</b> MÓDULO: ESP 8266.....  | 45 |
| <b>Figura 18:</b> shields de expansão.....   | 46 |
| <b>Figura 19:</b> equipamentos em caixa de PVC (20 x 13 x 10) cm .....   | 46 |
| <b>Figura 20:</b> estrutura de um ataque de DoS .....  | 48 |
| <b>Figura 21:</b> estrutura de um ataque de DDoS.....  | 48 |
| <b>Figura 22:</b> Protocolo Wi-Fi 80211N.....  | 50 |
| <b>Figura 23:</b> páginas do aplicativo de gestão.....   | 52 |
| <b>Figura 24:</b> páginas do aplicativo de gestão.....   | 53 |
| <b>Figura 25:</b> telas acessadas a partir do menu principal .....   | 54 |
| <b>Figura 26:</b> Luminária ELGIN – 100W .....   | 55 |
| <b>Figura 27:</b> Dados Técnicos da luminária.....   | 55 |
| <b>Figura 28:</b> Informações importantes retiradas da banco de dados.....   | 56 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| <b>Quadro 1:</b> Evolução das lâmpadas utilizadas em Iluminação Pública ..... | 17 |
|---|----|

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1:</b> Alíquota por faixa de consumo..... | 23 |
|---|----|

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfico 1:</b> Tensão x Tempo .....             | 57 |
| <b>Gráfico 2:</b> Corrente x Tempo.....            | 58 |
| <b>Gráfico 3:</b> Potência x Tempo.....            | 59 |
| <b>Gráfico 4:</b> Frequência x Tempo.....          | 59 |
| <b>Gráfico 5:</b> Consumo x Tempo .....            | 60 |
| <b>Gráfico 6:</b> (Tensão, Potência) x Tempo.....  | 61 |
| <b>Gráfico 7:</b> (Tensão, Corrente) x Tempo ..... | 61 |

## Sumário

|  |    |
|--|----|
| <b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....   | 8  |
| 1.2 – Objetivos .....  | 11 |
| 1.3 – Justificativa e organização do trabalho .....  | 12 |
| <b>CAPÍTULO 2 – A EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA</b> .....   | 14 |
| 2.1 – O estado da arte.....  | 14 |
| 2.2 – O primeiro registro da Iluminação Pública .....  | 14 |
| 2.3 – O papel da ciência no desenvolvimento de fontes de luz.....  | 15 |
| 2.4 – A importância dos materiais no desenvolvimento de fontes de luz .....  | 17 |
| 2.5 – A iluminação Pública no Brasil .....   | 17 |
| 2.6 – A Iluminação Pública e o atual avanço tecnológico .....  | 18 |
| 2.6.1 – Os impactos da tecnologia led na Iluminação Pública .....  | 18 |
| 2.7 – Considerações finais .....   | 20 |
| <b>CAPÍTULO 3 – CONTRIBUIÇÃO PARA O CUSTEIO DO SERVIÇO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA - COSIP</b> .....                         | 22 |
| 3.1 – Fundamentação legal e cálculo da COSIP .....   | 22 |
| 3.2 – Metodologia para formação de preço da COSIP.....   | 26 |
| 3.2.1 – Equação financeira da COSIP .....  | 27 |
| 3.2.2 Custos e receitas da Iluminação Pública .....  | 28 |
| 3.2.2.1 Custos diretos .....   | 28 |
| 3.2.2.2 – Custos indiretos .....   | 28 |
| 3.2.2.3 – Receitas .....   | 29 |
| 3.3 – Considerações finais .....   | 29 |
| <b>CAPÍTULO 4 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SISTEMAS 5G</b> .....  | 31 |
| 4.1 – A eficiência energética e as ações de telecomunicação para sistemas 5g green em redes de iluminação pública..... | 31 |
| 4.2 Cidade de GLASGOW .....  | 32 |
| 4.3 O papel da tecnologia 5g em uma cidade inteligente.....  | 33 |
| 4.4 – Considerações finais .....   | 36 |
| <b>CAPÍTULO 5 – SISTEMA DE MEDIÇÃO, COMUNICAÇÃO E TELEGESTÃO DESENVOLVIDO</b> .....                                    | 38 |
| 5.1 – Sistema de medição / comunicação .....   | 38 |
| 5.1.1 – Transformador de corrente (TC) .....   | 39 |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.1.2 – Medidor de consumo elétrico com Arduíno e módulo de comunicação AC PZEM-004T-100 A 41 |           |
| 5.1.3 – Fonte chaveada 5 volts (DC) – 1 A.....  | 44        |
| 5.1.4 – Módulo ESP 8266 .....   | 44        |
| 5.2 – Arduino UNO .....   | 47        |
| 5.3 – Segurança do sistema.....   | 47        |
| 5.4 – Padrão IEE (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos).....                      | 49        |
| 5.5 – Sistema de telegestão.....  | 50        |
| 5.6 – Resultados e discussão .....  | 54        |
| 5.6.1 Descrição do experimento .....  | 55        |
| 5.6.2 Análise das grandezas elétricas .....   | 56        |
| 5.7 – Considerações finais .....  | 62        |
| <b>6 – CONCLUSÃO .....</b>  | <b>63</b> |
| <b>6.1 – Principais conclusões do trabalho .....</b>  | <b>63</b> |
| <b>6.2 – Recomendações para trabalhos futuros .....</b>                                       | <b>67</b> |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 68        |
| ANEXO A – MÓDULO PZEM-004-100A.....   | 71        |
| ANEXO B – MÓDULO ESP 8266carmina .....  | 76        |
| ANEXO C – CUSTOS DIRETOS E INDIERETOS DA COSIP .....  | 78        |

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A iluminação pública é essencial à segurança e qualidade de vida das pessoas nos centros urbanos, atuando como instrumento de cidadania, permitindo aos habitantes desfrutar do espaço público também no período noturno (DAMBISKI, 2017).

Nos últimos anos, o avanço tecnológico fez com que a Iluminação Pública com pontos de luz tipo LED (Light Emitting Diode) (Diodo Emissor de Luz) se tornasse mais eficiente que a iluminação com lâmpadas de alta pressão. Porém, a otimização desse modelo para efficientização não se resume apenas à substituição de lâmpadas de descargas por lâmpadas do tipo LED.

No Brasil, a iluminação pública representa mais de 4% do consumo nacional de energia elétrica (GANDRA, 2019). Considerando a simples substituição de lâmpadas de vapor por lâmpadas do tipo LED, estima-se uma redução no consumo de energia e uma economia na operação que podem atingir de 40% a 80% de eficiência, além de melhores resultados visuais (GANDRA, 2019).

Quando o tema é Iluminação Pública, está se falando de segurança, bem-estar, turismo, conservação de patrimônio público, trânsito, controle de fluxo de pessoas e veículos, etc. Portanto, é de fundamental importância o conhecimento de tecnologias existentes hoje no mercado, para tirar proveito de um sistema que, por muitos anos, está servindo apenas para o conceito de iluminação noturna.

A Iluminação Pública com telegerenciamento torna-se então uma importante ferramenta para garantia de vantagens como o controle e telemetria, em tempo real, por meio de uma rede de conectividade entre os pontos e softwares de gestão.

Nota-se a importância do tema que se insere em uma tendência mundial, principalmente quando a pauta é (*SMART CITY*) Cidade Inteligente. A telegestão da Iluminação Pública e *IoT* (*Internet of Things*) (Internet das Coisas) passa a ser uma solução mais eficiente e segura, uma vez que compreende uma rede de sensores e atuadores independentes ou coparticipativos conectados à internet. Informações relevantes poderão ser fornecidas através da inferência sobre a grande massa de dados gerada por estes dispositivos conectados à rede de Iluminação Pública.

A Iluminação Pública surge como uma plataforma de conectividade para as cidades inteligentes, por ser uma rede amplamente difundida pelo ecossistema urbano. Assim, cada elemento instalado na luminária poderá transformar-se em um ponto de ligação para outros

elementos de IoT. Com a migração para a tecnologia LED, as luminárias passam a ser dotadas de sistemas de comunicação, ao serem monitoradas e controladas pela telegestão (MME, 2018).

Por meio da malha de comunicação, as luminárias exercerão outras funções, além de iluminar. Passarão a ser autogeridas, fornecendo informações sobre o seu estado, consumo e adotando perfis de funcionamento que conduzirão a uma economia relevante de energia elétrica.

A telegestão no Brasil, passou a ser considerada a partir da publicação do “Manual de Instruções do Artigo 26 da Resolução Normativa Nº 414/2010” da ANEEL, o qual faz referência à adoção dos dispositivos de telegestão em Iluminação Pública e sobre a medição do consumo (MONTEIRO, 2021). Isso é um marco na história da Iluminação Pública no Brasil.

Outra motivação para aprofundamento do assunto, é a possibilidade de mudança da cobrança do consumo de Iluminação Pública, por conta da medição de consumo de cada ponto da rede. Ainda hoje a CIP (Contribuição para Iluminação Pública) ou a COSIP (Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública) é cobrada, levando-se em conta a estimativa de tempo de funcionamento da luminária e é estimado também o consumo das luminárias e acessórios, ou seja, considera-se o número de pontos, independentemente, se o ponto está funcionando ou não.

O monitoramento da quantidade de pontos instalados, a energia consumida pela Iluminação Pública, o balanceamento da rede de baixa tensão e a otimização do sistema com a mudança do modelo existente, constitui um tema de grande relevância e complexidade, sendo pertinente a propositura de um projeto estratégico com as seguintes perspectivas: substituição de lâmpadas de descargas por lâmpadas tipo LED, utilização da (IoT) para comunicação com outros sistemas, diminuição do custo de operação e manutenção, medição de tensão alternada, corrente, potência ativa, frequência, fator de potência e energia ativa de cada ponto de luz. Portanto, adquirindo dados antes inexistentes do sistema de Iluminação Pública no Brasil, pode-se utilizar o telegerenciamento para melhorar o controle e o atendimento de usuários. E por que a preocupação com esse tema se faz necessária? O Código de Proteção e Defesa do Consumidor se tornou muito forte no Brasil e pagar por um consumo de energia de forma estimada, ignorando a tecnologia disponível no mercado para medição real do consumo de energia, vai de encontro à Lei que garante ao consumidor *pagar apenas pelo que consome*. Acrescenta-se ainda que, esta estimativa para cobrança da contribuição para Iluminação Pública não leva em consideração o número de pontos

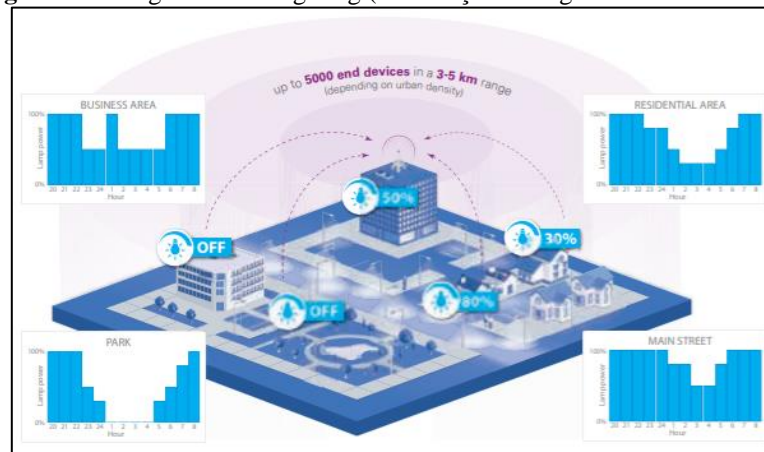
de luz apagados, ou que não tem o rendimento que deveriam ter, por conta de luminárias e reatores avariados. A atual composição de preços da COSIP, não leva em consideração o tempo de funcionamento de cada ponto. A potência elétrica de cada ponto, na maioria das vezes, também não é considerada por falta de controle do acervo dos ativos da rede de Iluminação Pública.

Os contribuintes da COSIP só os são, porque são consumidores de energia. O cálculo do valor devido a título de contribuição de Iluminação Pública é feito com base no consumo de energia elétrica de cada consumidor ligado à rede de distribuição da concessionária de energia elétrica, ou seja, quanto maior o consumo, maior a COSIP.

A substituição de tecnologia obsoleta por tecnologia de ponta, e implantação de sistema de gestão de manutenção e operação, bem como o ajuste da legislação vigente, tornam evidente a necessidade de se investir em um novo modelo que produza eficiência energética, diminuição de custos com manutenção e operação, e velocidade em atendimento ao público em geral.

A Figura 1 ilustra o poder do controle que se pode ter com o gerenciamento remoto. Pode-se planejar a quantidade de luz certa para cada setor de uma cidade, onde e quando necessário. Tratando a demanda de Iluminação Pública de uma área residencial diferente de um distrito industrial, por exemplo.

**Figura 1:** Inteligent Street Lighting (Iluminação Inteligente de vias Públicas)

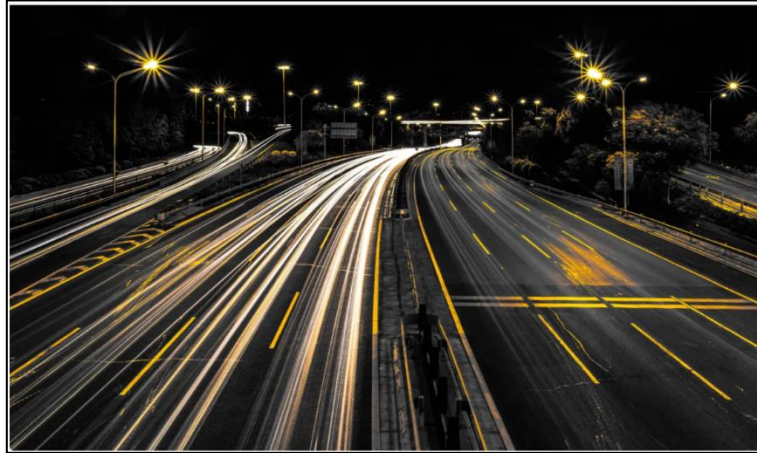


**Fonte:** InteliLIGHT (2021)

A Iluminação Pública com imersão em tecnologia de conectividade se tornará uma realidade mais próxima, após a implementação da tecnologia 5G. Esta geração de serviços móveis pode ser até 20 vezes mais rápida do que a anterior, ter um tempo de resposta até 50 vezes menor e uma eficiência energética de até 90% superior ao 4G (BRASIL, 2021)

A Figura 2 apresenta a abrangência da tecnologia 5G, a qual trabalha com mais frequências, ou seja, mais caminhos para transmitir informações. “É como se fosse uma estrada com mais pistas” (NEGER, 2021). A tecnologia 5G atinge uma velocidade maior para a conexão com aparelhos, o que permite, por exemplo, uma resolução e qualidade melhores de imagem e som e vídeos.

**Figura 2:** 5G oferece uma “estrada” com mais vias para transmissão de dados, aumentando velocidade



**Fonte:** NEGER (2021)

O desafio quando se fala na expansão do 5G pelo Brasil é o seu alcance menor. Para conseguir uma cobertura maior seria necessária a instalação de mais antenas que permitam a conexão com o 5G. Em grandes centros precisaria de algo como uma antena por poste. Ressalta-se então a infraestrutura já existente de posteamento utilizado para a iluminação pública (NEGER, 2021).

## 1.2 – Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de aquisição de dados para medição ponto a ponto, contemplando a comunicação com um sistema de gerenciamento geral da Iluminação Pública municipal para o monitoramento, diminuição de custos



com operação e manutenção, contribuindo para uma possível discussão da diminuição do valor da Contribuição para o Custeio de Iluminação Pública (COSIP).

O trabalho propõe então, de forma mais específica, os seguintes objetivos:

- Especificar os equipamentos mínimos necessários para obtenção de dados como: tensão corrente, consumo, potência ativa, potência reativa, fator de potência e frequência;
- Apresentar as características mínimas que um aplicativo de telegestão de iluminação pública deve contemplar para se obter uma gestão eficiente e eficaz;
- Apresentar a tecnologia de *SMART CITIES*, tendo como plataforma a iluminação pública, visando a tecnologia 5G e suas aplicações;
- Subsidiar as discussões de uma possível revisão da COSIP para o custeio das atividades do sistema de Iluminação Pública, mostrando a necessidade da mudança de modelo de metodologia para cobrança dessa contribuição no Brasil.

### **1.3 – Justificativa e organização do trabalho**

Após os pontos de iluminação serem identificados e cadastrados, é possível instalar os dispositivos de telegestão em cada ponto, e dessa forma, o sistema consegue monitorar remotamente os pontos de iluminação de forma instantânea. Todas as informações coletadas são devidamente interpretadas pelo servidor. A coleta e tratamento de dados permite diminuir significativamente os custos de operação e economizar energia, o que até então não era possível.

O grande avanço tecnológico no sistema de Iluminação Pública com a utilização do telegerenciamento, será a possibilidade de conectividade desse sistema com outros sistemas, pois há um grande número de sensores e dispositivos IoT que podem ser fornecidos a partir do sistema de Iluminação Pública inteligente, usando qualquer comunicação disponível e sendo coordenados por meio do software de gestão ou outra plataforma IoT com aplicativo dedicado. Outros sistemas, podem ser inseridos na plataforma de Iluminação Pública, como câmeras de Circuito Fechado de Televisão - CFTV, sensores de poluição, detectores de ruído, sensores de densidade de tráfego ou infraestrutura de carregamento de veículos elétricos. Outros irão simplesmente ajudar a gerenciar a iluminação pública de forma eficiente, como os sensores de luz, sensores de impacto de poste e

detecção de corte de cabo são apenas alguns exemplos, ou seja, o sistema poderá se integrar sinergicamente com outros sistemas da cidade, tornando-se assim inteligente para avisar, tomar decisões, etc.

A continuidade da presente dissertação é composta por 6 Capítulos, estruturados da seguinte maneira:

O Capítulo 2 intitulado “A EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA”, aborda o estado da arte contemplando uma linha do tempo até os dias atuais, fazendo um levantamento dos materiais pesquisados pelos cientistas desde utilização de luminárias a gás até o emprego de lâmpadas de tecnologia do tipo LED na Iluminação Pública. Trata também o referido capítulo sobre os impactos da tecnologia LED na Iluminação Pública.

O Capítulo 3 intitulado “CONTRIBUIÇÃO PARA O CUSTEIO DO SERVIÇO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA – COSIP”, apresenta as normas as quais fundamentam o trabalho, além de apresentar a forma como a COSIP é calculada para fins de faturamento na conta de energia elétrica do consumidor. O capítulo ainda faz uma abordagem sobre os custos diretos e indiretos da Iluminação Pública, assim como faz referências aos recursos arrecadados com a COSIP, provenientes de resíduos retirados da rede de Iluminação Pública.

O Capítulo 4 intitulado “EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SISTEMAS 5G”, aborda eficiência energética e as ações de telecomunicação para sistemas 5G *green* em redes de Iluminação Pública. Faz ênfase ao progresso da infraestrutura de Iluminação Pública inteligente e apresenta experiências implantadas em três cidade onde a infraestrutura de Iluminação Pública foi transformada em um sistema dinâmico. Segue o capítulo destacando o papel da tecnologia 5G em uma cidade inteligente e finaliza apresentando a evolução das comunicações móveis.

O Capítulo 5 intitulado “SISTEMA DE MEDIÇÃO, COMUNICAÇÃO E TELEGESTÃO DESENVOLVIDO” é a parte que descreve a tecnologia desenvolvida, como contribuição desta dissertação, para implantação de uma medição, monitoramento e telegestão em tempo real de uma cidade inteligente e apresenta os resultados e discussões de um experimento, por meio de um protótipo para efeito de análise.

O Capítulo 6 finaliza com apresentação das considerações finais conclusivas sobre o tema proposto nesta dissertação e as recomendações para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 – A EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Para o melhor entendimento sobre a evolução tecnológica da Iluminação Pública no mundo e no Brasil, este trabalho apresenta o Capítulo 2, o qual tem como objetivo fazer um levantamento do que se produziu sobre o tema proposto, buscando uma cronologia, considerando espaço, contextos sociais, políticos, econômicos e culturais. Tal conhecimento, torna-se fundamental para entender os benefícios da tecnologia hoje existente sobre o assunto.

A tecnologia 5G aplicada à Iluminação Pública também faz parte da evolução do sistema não somente no Brasil, mas no mundo, porém devido à importância do assunto e ser um tema atual e futurístico, essa abordagem merece um capítulo independente e será devidamente tratado no Capítulo 4.

### **2.1 – O estado da arte**

Para o melhor entendimento sobre a evolução tecnológica da Iluminação Pública no mundo e no Brasil, este trabalho apresenta o Capítulo 2, o qual tem como objetivo fazer um levantamento do que se produziu sobre o tema proposto, buscando uma cronologia, considerando espaço, contextos sociais, políticos, econômicos e culturais. Tal conhecimento, torna-se fundamental para entender os benefícios da tecnologia hoje existente sobre o assunto.

A tecnologia 5G aplicada à Iluminação Pública também faz parte da evolução do sistema não somente no Brasil, mas no mundo, porém devido à importância do assunto e ser um tema atual e futurístico, essa abordagem merece um capítulo independente e será devidamente tratado no Capítulo 4.

O Capítulo 2 então, inicia com questionamentos sobre a origem da iluminação pública e discorre sobre a contribuição da ciência com os estudos sobre materiais para o desenvolvimento de fontes de luz.

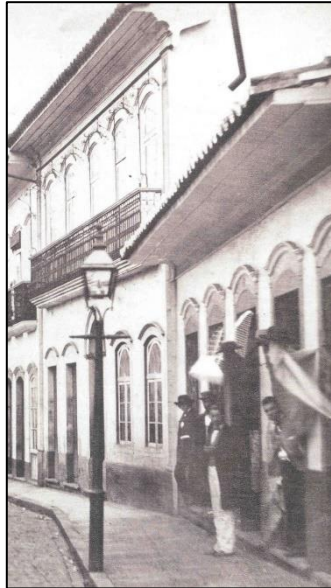
### **2.2 – O primeiro registro da Iluminação Pública**

Onde começou a iluminação pública? este questionamento se faz necessário hoje para que se possa acompanhar o interesse da humanidade em bem-estar, segurança e atualmente, no aproveitamento desse acervo de Iluminação Pública para conexão com outras tecnologias.

A primeira versão conhecida de um poste de luz surgiu por volta de 140 aC. Os gregos e romanos usavam lâmpadas a óleo para iluminar caminhos e estradas fora de suas casas na esperança de dissuadir os ladrões e aumentar a visibilidade e a segurança. Os residentes mais ricos empregavam escravos *lanternarius* para garantir que as luzes da rua permanecessem acesas e limpas durante a noite (PODVIN , 2018).

Esse processo continuou até a Idade Média, quando as luzes da rua com velas, que entraram em ação por volta do ano de 1417, iluminaram as principais cidades da Inglaterra. A Figura 3 ilustra a presença do operador, também chamado à época de *link-boy* (garoto que carregava uma tocha acesa) para acender as velas prontas para as horas de escuridão.

**Figura 3:** A origem da iluminação pública



**Fonte:** (ALESP, 2004)

Esse sistema permaneceu até a virada do século em 1807, quando a primeira luminária de rua a gás foi demonstrada na Rua Pall Mall, Londres, por Frederick Albert Windsor [6]. A partir desse marco, a iluminação em espaços públicos ganhou o interesse de cientista, físicos, matemáticos e pensadores.

### **2.3 – O papel da ciência no desenvolvimento de fontes de luz**

Desde que a raça humana emergiu da Idade da Pedra para a Idade do Bronze, sabe-se que objetos aquecidos emitem luz; desde então, os ferreiros usaram para controlar a temperatura o fato

de que a luz mudava de fraca e vermelha em temperaturas moderadas para brilhante e branca em altas temperaturas. Assim, os primeiros experimentadores que buscavam produzir luz por incandescência a partir de metais eletricamente aquecidos teriam procurado condutores de altas temperaturas de fusão e altas resistividades. Platina e grafite eram as escolhas óbvias na época: platina porque podia ser usada no ar e grafite porque tinha maior resistividade e alta temperatura de fusão (KARLICEK, 2017) .

Em 1882 a Edison Electric Illuminating Company, ligou pela primeira vez lâmpadas elétricas em uma via pública. A primeira rua no mundo a receber iluminação elétrica foi a Wall Street em Nova York - EUA (KARLICEK, 2017).

Quando o desenvolvimento de técnicas de liquefação de ar e separação em componentes disponibilizou o neon em 1898, isso desencadeou uma pesquisa agressiva de Georges Claude na Europa, que inventou um cátodo frio e oco que tinha vida extremamente longa e tornou realidade comercial o uso de “lâmpadas de néon” para publicidade, primeiro na Europa e depois nos EUA (KARLICEK, 2017).

A lâmpada de vapor de sódio e mercúrio de alta pressão foram desenvolvidas empiricamente na década de 1930, inicialmente na Philips na Holanda, na Osram na Alemanha e na GEC na Inglaterra, primeiro como uma descarga de pressão de uma atmosfera em um tubo de vidro duro de aluminossilicato, com um efeito luminoso de cerca de 40 lum / W (KARLICEK, 2017).

Estava em alta então a lâmpada de pressão, a qual foi aproveitada para iluminar as ruas por ter forte potencial luminotécnico. Usadas até hoje, em lugares com grande extensão. A tecnologia avançou e logo em 1931 surgiram as lâmpadas do tipo Vapor Metálico (BRIGHT, 1949). Algum tempo depois se concluiu que a Vapor de Sódio poderia representar economia de consumo, porém apresentava-se com uma cor mais amarelada e seus componentes tóxicos emitiam metais pesados na atmosfera e podiam contaminar o solo (LEPTICH, 2012).

O interesse da comunidade científica passou a ser mais intenso com a descoberta de propriedades específicas de certos materiais para o desenvolvimento de novas fontes de luz. Surge então em 1962 os elementos LED (Light Emitting Diode) (Diodo Emissor de Luz).

Para melhor entendimento, organizou-se o progresso da tecnologia de lâmpadas em uma linha do tempo da origem das lâmpadas empregadas em Iluminação Pública, conforme Quadro 1 a seguir:

**Quadro 1:** Evolução das lâmpadas utilizadas em Iluminação Pública

| 140 aC                                     | 1417   | 1882   | 1898                 | 1930   | 1931                                | 1962                |
|--|--|--|----------------------|--|-------------------------------------|---------------------|
| Os gregos e romanos usavam lâmpadas a óleo | luzes da rua com velas, que entraram em ação | Edison Electric Illuminating Company, ligou pela primeira vez lâmpadas elétricas em uma via pública. | Surge a lâmpada NEON | A lâmpada de vapor de sódio e mercúrio de alta pressão foram desenvolvidas | Surge a Lâmpada tipo Vapor Metálico | Surge a Lâmpada LED |

Fonte: autores

#### 2.4 – A importância dos materiais no desenvolvimento de fontes de luz

O desenvolvimento da tecnologia LED ocorreu quase inteiramente fora das empresas tradicionais de fontes de luz, por pessoas treinadas em física, química e tecnologia de semicondutores. Sem esse conhecimento científico, os LEDs não teriam sido possíveis. A partir do ano 2000, as luminárias em LED começaram a ganhar espaço nas ruas das cidades.

Esse tipo de tecnologia foi muito bem aceito, apesar do custo da lâmpada, porém é necessário entender a origem da iluminação pública no Brasil, antes da chegada da tecnologia LED.

#### 2.5 – A iluminação Pública no Brasil

Ao pesquisar na Divisão de Acervo Histórico da Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, encontra-se documento intitulado “A iluminação pública em São Paulo no século XIX e o legislativo paulista”. Este acervo conta a história da iluminação pública no Brasil em seu início. Informa que no ano de 1829, quando o governo da Província incumbiu a Câmara Municipal de encarregar-se da iluminação urbana, existiam 24 lampiões a azeite iluminando a Imperial Cidade de São Paulo, que já tinha então perto de 20 mil habitantes. Assim como em outros países, houve a evolução das lâmpadas de alta pressão, até chegar nos dias de hoje, onde a popularização da lâmpada LED fez o preço se tornar mais acessível, considerando também a economia de energia promovido por esse tipo de tecnologia, a maior durabilidade e maior eficiência, provocando assim um avanço tecnológico.

## **2.6 – A Iluminação Pública e o atual avanço tecnológico**

A tecnologia considerada mais avançada hoje e que, aos poucos, começa a entrar no mercado da iluminação pública é a tecnologia LED. Podem ser feitas luminárias de diferentes temperaturas de cor, das esbranquiçadas até as amareladas, com vida útil longa, eficiência elevada e boa reprodução das cores dos objetos. Ainda se tem poucos exemplos de uso desse tipo de luminária, já que o custo inicial é mais alto, mas, principalmente nas grandes capitais, já pode se encontrar locais que utilizam esse tipo de luz (LEPTICH, 2012).

A tecnologia LED não é prejudicial para o meio ambiente, diferentemente das lâmpadas utilizadas no século passado, com metais pesados, como as lâmpadas de vapor de sódio, mercúrio ou vapor metálico. Outras vantagens apresentadas por essa nova tecnologia são a vida útil das lâmpadas, que é muito maior, requer menos manutenção, mais econômica, não emite radiação infravermelha (IV) e ultravioleta (UV) e não atrai insetos e reacende imediatamente (RANGEL, 2009).

Na iluminação pública, a ampliação dos investimentos na aplicação de LED, além de ser uma tendência, tem se tornado a única opção disponível para buscar economia de energia e melhor qualidade nos sistemas que atualmente estão sendo projetados ou modernizados. (ROZITO, 2021). Porém é necessário entender como funcionam e que tipo de impactos podem provocar no sistema elétrico de potência.

### **2.6.1 – Os impactos da tecnologia led na Iluminação Pública**

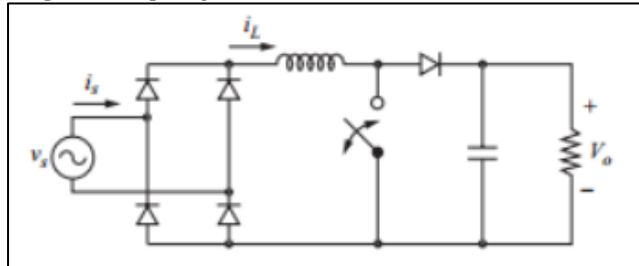
Apesar de possuir elevada eficiência, apresenta interferência eletromagnética para determinadas faixas de frequência, proveniente das lâmpadas LEDs, já foram observadas em faixas de frequência de rádio amadora (144,000Mhz a 148,000Mhz em VHF - *Very High Frequency* – Frequência Muito Alta e 430,000Mhz a 450,000Mhz em UHF- *Ultra High Frequency* – Frequência Ultra Alta) e interferências em sinais de transmissão de TVs e rádios (ARAÚJO, 2021). A tecnologia LED pode provocar emissões eletromagnéticas conduzidas, que podem ser entendidas como a propagação de perturbação via conexões elétricas, ou seja, são os ruídos eletromagnéticos que são transferidos de um sistema para as linhas de alimentação de um outro sistema em corrente contínua ou alternada. A tecnologia LED também pode provocar emissões eletromagnéticas

radiadas, que são propagações de perturbações pelo ar, ou seja, são sinais ou ruídos eletromagnéticos que são emitidos por um dispositivo ou sistema que podem ser assimilados por outros dispositivos ou sistemas que se encontram inseridos no mesmo ambiente eletromagnético, causando entre eles a interferência eletromagnética. Essas interferências devem ser mantidas dentro de uma faixa limite, dentro de padrões aceitáveis de operação e previstos em norma (ARAÚJO, 2021).

As lâmpadas LED são dispositivos semicondutores, que necessitam converter a corrente alternada (c.a.), da rede de fornecimento de energia elétrica, em corrente contínua (c.c.) para seu funcionamento. Essa conversão gera distúrbios, como distorções harmônicas de corrente, afundamentos de tensão e baixo fator de potência (MARTINS, 2021). As lâmpadas tipo LED possuem um dispositivo eletrônico, denominado “*driver*”, que é um conversor com chaveamento eletrônico, o qual converte corrente alternada em corrente contínua ou corrente contínua para corrente contínua. O *driver* tem a capacidade de receber a tensão alternada da rede e controlar a tensão e a corrente da carga (LED) (dimerização) (NOGUEIRA, 2018). Uma grande parte dos conversores chaveados hoje possuem uma alimentação em corrente alternada, então, seu primeiro estágio é a conversão completa de corrente alternada para corrente contínua através da ponte de diodos. Como os diodos conduzem só por um instante de tempo durante cada ciclo, o resultado disso é uma corrente de entrada não senoidal. Essa corrente gera, por sua vez, uma alta distorção harmônica total (THD) (CUNHA, 2020). Uma alta distorção harmônica, diminui o fator de potência (FP), porém algumas luminárias já tem incorporados os filtros para garantir um FP dentro dos parâmetros de norma (RASHID, 2014).

Um alto THD gera, por sua vez, um baixo fator de potência, o que é indesejado para conversores, já que compromete sua performance. Uma maneira de corrigir o baixo fator de potência é através de um circuito corretor de fator de potência (PFC). Uma topologia que pode ser implementada através do conversor *boost*. Este circuito é utilizado para controlar a corrente no indutor (*Lboost*) e torná-la aproximadamente senoidal. A Figura 4 ilustra essa topologia.



**Figura 4:** Topologia de um conversor boost PFC.

Fonte: Cunha (2020) retirado de Hart (2010).

Para efeito de comparação, deve-se considerar que os reatores das lâmpadas de descargas também geram harmônicos. Neste cenário, há entre os pesquisadores a dúvida: até que nível o sistema elétrico é capaz de absorver de poluição por cargas não-lineares, sem mitigação de seus efeitos e sem comprometimento da qualidade? [44]. É importante lembrar que o sistema elétrico de potência é robusto, mas os ruídos injetados na rede sempre foram motivo de debate entre os especialistas.

Fontes de luz ineficientes, equipamentos obsoletos ou que apresentam falhas são alguns dos obstáculos que os sistemas de Iluminação Pública enfrentam e que impossibilitam a obtenção de melhores indicadores de eficiência energética. Neste contexto, a tecnologia LED torna-se interessante na medida em que suas excelentes características luminotécnicas, durabilidade, eficiência e confiabilidade, podem impactar fortemente os sistemas de iluminação, diminuindo desperdícios de energia e custos com manutenção (PINTO, 2018) .

A substituição das lâmpadas de vapor de sódio e fluorescentes pelas que utilizam a tecnologia LED é uma das saídas apontadas pela Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilux) para reduzir o consumo de energia em tempos de risco de racionamento. Dentre outras vantagens, vale ressaltar que, quando desligadas, as lâmpadas de LED podem ser religadas no mesmo instante, já as lâmpadas de ionização gasosa precisam resfriar para novo acionamento. [44].

Para finalização deste capítulo e visando reforçar alguns pontos necessários para o bom entendimento, seguem as considerações finais no item 2.6.

## 2.7 – Considerações finais

Este capítulo teve como objetivo, mostrar a evolução da Iluminação Pública no Brasil e no mundo, fazendo um resumo do desenvolvimento desse sistema, desde a primeira versão de um poste de luz por volta de 140 aC, até a aparição da iluminação a gás em Londres. Em seguida fez referência à importância da ciência e dos materiais no desenvolvimento de fontes de luz. O Capítulo 2 abordou o aparecimento da Iluminação Pública no Brasil e por fim o avanço tecnológico e os impactos da tecnologia LED na Iluminação Pública. Apresentou ainda algumas vantagens da utilização da tecnologia do tipo LED e questionamentos sobre a qualidade da energia após a inserção das lâmpadas de LED no sistema, assunto que ainda se encontra em discussão no meio profissional.

Destacou-se no Capítulo 2 a importância do avanço tecnológico com a implantação da tecnologia 5G, a qual, pela importância, será abordada em capítulo independente.

Para dar sequência ao entendimento do assunto proposto por este trabalho, faz-se necessário o conhecimento das principais normas que regem o tema, o que será abordado no Capítulo 3 a seguir.

## **CAPÍTULO 3 – CONTRIBUIÇÃO PARA O CUSTEIO DO SERVIÇO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA - COSIP**

Neste capítulo será abordada a natureza jurídica da COSIP (Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública), por meio das bases legais que a legitimam e a metodologia para o seu cálculo.

A origem é a Constituição Federal de 1988 com a emenda constitucional Nº 39, a qual acrescenta o art. 149-A à Constituição Federal, instituindo contribuição para custeio do serviço de iluminação pública nos Municípios e no Distrito Federal.

Seguindo a cronologia, a Resolução Normativa nº 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, determinou que as distribuidoras de energia elétrica deveriam transferir à pessoa jurídica de direito público os ativos do sistema de iluminação Pública – IP, a elas pertencentes, registrados como Ativo Imobilizado em Serviço – AIS (COPEL, 2019). Ou seja, o acervo de Iluminação Pública passa para os ativos dos municípios e Distrito Federal. Então o poder municipal passou a legislar sobre a gestão e forma de arrecadação para manter a funcionalidade do sistema e os custos com o consumo de energia da rede de Iluminação Pública.

### **3.1 – Fundamentação legal e cálculo da COSIP**

Este trabalho adota a LEI Nº 8.226, DE 30 DE DEZEMBRO DE 2002, como referência à legislação aprovada pelos municípios que fizeram a opção pela responsabilidade dos ativos, manutenção e operação da Iluminação Pública, aprovada pela Câmara Municipal de Belém. Lei essa que institui a contribuição para custeio do serviço de iluminação pública no Município de Belém, e dá outras providências. A Tabela 3.1 a seguir foi aprovada pela referida Lei Municipal. Observa-se na referida tabela que a arrecadação para pagamento da COSIP leva em consideração o enquadramento do consumidor por faixa de consumo, ou seja, quanto maior o consumo, maior é a alíquota aplicada, desconsiderando o cálculo para se obter o custo com as Despesas com o Consumo de Energia (DCE) e com as Despesas com Prestação de Serviços (DPS), como será visto mais adiante.

**Tabela 1:** Alíquota por faixa de consumo

| FAIXA DE CONSUMO   |          | ALÍQUOTA |
|--------------------|----------|----------|
| RESIDENCIAL - BT   |          |          |
| MAIOR DE           | ATÉ      |          |
| -                  | 79 kwh   | ISENTO   |
| 80 kwh             | 200 kwh  | 4,14     |
| 201 kwh            | 300 kwh  | 6,22     |
| 301 kwh            | 400 kwh  | 8,28     |
| 401 kwh            | 500 kwh  | 10,34    |
| 501 kwh            | 750 kwh  | 15,54    |
| 751 kwh            | 1000 kwh | 20,70    |
| ACIMA DE 1.000 kwh |          | 25,88    |
| INDUSTRIAL - BT    |          |          |
| MAIOR DE           | ATÉ      |          |
| -                  | 30 kwh   | 20,70    |
| 31 kwh             | 100 kwh  | 31,07    |
| 101 kwh            | 200 kwh  | 41,42    |
| 201 kwh            | 300 kwh  | 51,78    |
| 301 kwh            | 400 kwh  | 64,72    |
| 401 kwh            | 500 kwh  | 77,66    |
| 501 kwh            | 750 kwh  | 90,61    |
| 751 kwh            | 1000 kwh | 103,55   |
| ACIMA DE 1.000 kwh |          | 116,50   |

| COMERCIAL - BT     |          |       |
|--------------------|----------|-------|
| MAIOR DE           | ATÉ      |       |
| -                  | 30 kwh   | 1,29  |
| 31 kwh             | 100 kwh  | 5,18  |
| 101 kwh            | 200 kwh  | 10,34 |
| 201 kwh            | 300 kwh  | 15,34 |
| 301 kwh            | 400 kwh  | 20,70 |
| 401 kwh            | 500 kwh  | 25,88 |
| 501 kwh            | 750 kwh  | 38,83 |
| 751 kwh            | 1000 kwh | 51,78 |
| ACIMA DE 1.000 kwh |          | 77,66 |

| INDUSTRIAL/COMERCIAL - AT |            |        |
|---------------------------|------------|--------|
| MAIOR DE                  | ATÉ        |        |
| -                         | 2.000 kwh  | 133,97 |
| 2.001 kwh                 | 5.000 kwh  | 161,80 |
| 5.001 kwh                 | 10.000 kwh | 217,46 |
| 10.001 kwh                | 20.000 kwh | 291,24 |
| 20.001 kwh                | 30.000 kwh | 361,00 |
| ACIMA DE 30.000 kwh       |            | 441,39 |

**Fonte:** LEI Nº 8.226 (2002).

Continuando a sequência de normas que regulam o assunto, faz-se referência à Resolução Normativa Nº 888 de 30 de junho de 2020, publicada pela ANEEL, que aperfeiçoa as disposições relacionadas ao fornecimento de energia elétrica para o serviço público de iluminação pública, por meio da inserção do Capítulo II-A na Resolução Normativa nº 414, de 2010, que em seu Art. 24, preconiza o seguinte:

“O consumo mensal da energia elétrica destinada à iluminação pública deve ser apurado considerando as seguintes disposições:”

Destaca-se então, o inciso III:

III - com sistema de gestão de iluminação pública do poder público municipal ou distrital: o consumo dos pontos de iluminação abrangidos deve ser apurado a partir das informações do sistema de gestão.

O legislador determina que o consumo de energia da Iluminação Pública deva ser apurado pelo sistema de gestão da municipalidade. Apesar da REN 888 não especificar a forma de medir, mas deixa evidente a coleta de dados por meio de mecanismos que antes somente existiam por meio da estimativa. O mesmo artigo apresenta, no inciso IV, a equação para cálculo do consumo mensal da Iluminação Pública, em caso de não enquadramento da medição no inciso III.

IV - não enquadrado nas hipóteses acima: o consumo mensal por ponto de iluminação deverá ser estimado considerando a seguinte expressão 3.1:

$$\text{Consumo Mensal (KWh)} = (\text{Carga} \times (\text{n} \times \text{Tempo} - \text{DIC}/2)) / 1.000 \quad (3.1)$$

onde,

Carga = potência nominal total do ponto de iluminação em Watts, incluídos os equipamentos auxiliares, conforme art. 25, devendo ser proporcionalizada em caso de alteração durante o ciclo.

Tempo = tempo considerado para o faturamento diário da iluminação pública, podendo assumir os seguintes valores:

24h - para os logradouros que necessitem de iluminação permanente; ou

Tempo médio anual por município homologado pela REH nº 2.590/2019;

DIC = Duração de Interrupção Individual da unidade consumidora que agrega os pontos de iluminação pública no último mês disponível, conforme cronograma de apuração da distribuidora, em horas, conforme Módulo 8 do PRODIST;

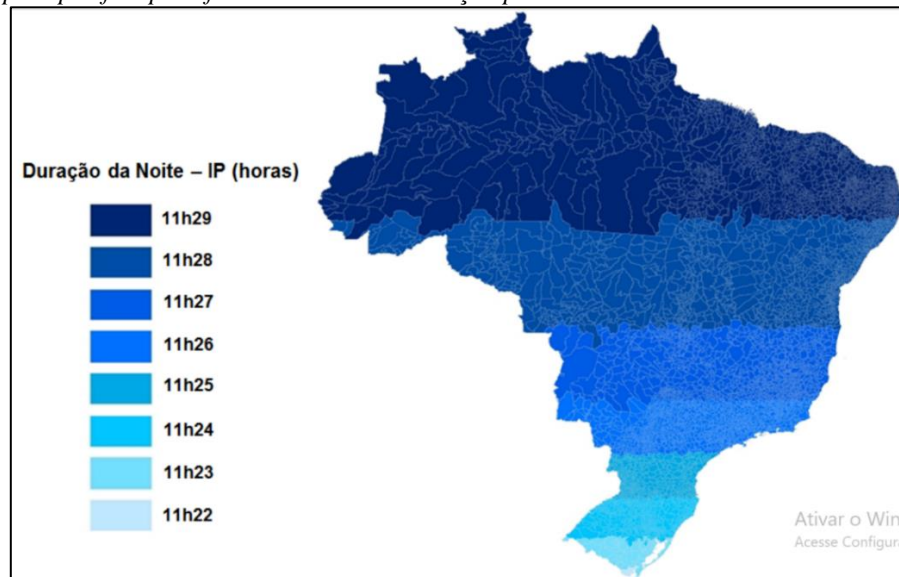
n = número de dias do mês ou o número de dias decorridos desde a instalação ou alteração do ponto de iluminação.

Observa-se que a RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 888/2020 não esclarece o porquê considera a metade do DIC (equação 3.1) para o cálculo do consumo mensal e a questão passa a ser o tempo para o cálculo do consumo, mas, para fins de faturamento da energia elétrica destinada à IP ou à iluminação de vias internas de condomínios, o tempo a ser considerado para consumo diário era de **11 (onze) horas e 52 (cinquenta e dois) minutos**, porém a RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 2.590 de 13 de agosto de 2019, homologa os tempos a serem considerados para o consumo diário para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública e à iluminação de vias internas de condomínios.

Com a nova regra, cada município passou a ter um tempo específico para o faturamento da iluminação, variando de 11h22min a 11h29min, conforme sua latitude, sendo a média nacional de 11h27, ou seja, uma redução média em relação ao tempo antes regulado de 25 minutos ou de 3,5%, o que representará uma economia para os municípios BRASIL, 2019).

A RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 888/2020 considera para o município de Belém-PA o tempo de 11h29min. A mesma resolução ilustra por meio do mapa do Brasil os tempos para cada região do mapa, conforme Figura 5 a seguir. Nota-se que, mesmo com o ganho proporcionado pela diminuição do tempo definido na resolução homologatória 888/2020, esse tempo é estimado, não é real e representa um estado de lâmpada ligada durante esse período. Na prática tem-se inúmeros pontos desligados por conta de avarias em lâmpadas e/ou reatores, relés, ignitores entre outros. Em época de verão intenso em Belém, o nascer do sol é mais cedo e o pôr do sol é mais tarde, diminuindo assim o tempo de funcionamento da Iluminação Pública.

**Figura 5:** Tempo específico para faturamento da iluminação pública de acordo com a latitude de cada município.



Fonte: ANEEL (2019).

O mais recente regramento sobre o assunto é a RESOLUÇÃO NORMATIVA da ANEEL N° 1.000, de 7 de dezembro de 2021, a qual revoga as Resoluções Normativas ANEEL n° 414, de 9 de setembro de 2010 e em seu artigo 474 em seu inciso I, traz uma novidade. Exige que o município apresente à concessionária, um projeto técnico específico.

I - o poder público municipal deve apresentar projeto técnico específico, que deve ser avaliado pela distribuidora nos prazos do art. 51, observado o art. 440 em caso de violação.

Isso implica em um tempo maior e uma dependência da aprovação por parte da concessionária para a implantação do sistema de telegestão do sistema de Iluminação Pública.

Após o cálculo do consumo de energia, parte-se para o cálculo da tarifação e tributação do consumo de energia da Iluminação Pública. Surge então a expressão 3.2 a seguir. O consumo de energia gera uma tarifação. A tarifa de energia elétrica é a composição dos valores de investimentos e operações técnicas realizadas durante os processos de geração, transporte (transmissão e distribuição) e comercialização. Além da tarifação, o consumo de energia gera também a tributação, que são os impostos federais (PIS e COFINS) e o ICMS (Imposto sobre circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços) que é um imposto estadual.

$$DCE = (KWh \times TE) / \{1 - [(ICMS + PIS + COFINS) / 100]\} \quad (3.2)$$

Onde:

DCE = Despesa com Consumo de Energia;

KWh = Consumo de Energia, medido em kWh;

TE = Tarifa de Energia (B4a kWh);

ICMS = Imposto sobre circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços;

PIS = Programa de Integração Social;

COFINS = Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social.

É importante frisar que o art. 149-A da CF/88 não fixou uma base de cálculo a ser utilizada pelos Municípios, cabendo à administração municipal estabelecer essa base. Em função disso, foram propostas várias bases de cálculo. A base de cálculo adotada pelo município de Belém, consta na Tabela 3.1 deste trabalho.

### **3.2 – Metodologia para formação de preço da COSIP**

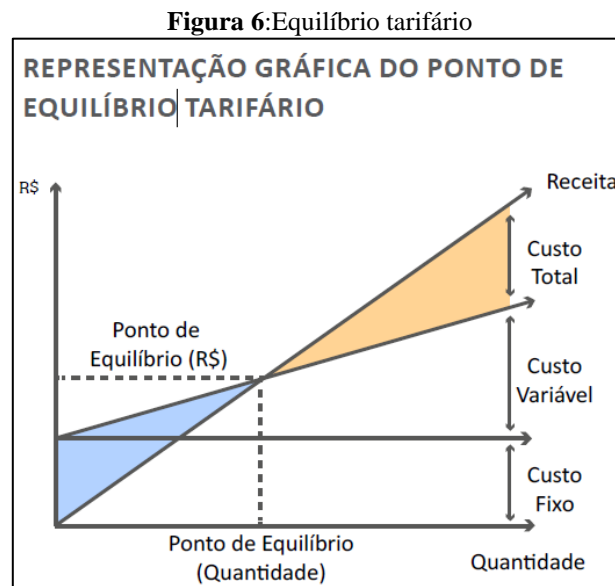
A metodologia para formação de preço da COSIP deve garantir a sustentabilidade econômico-financeira do serviço de Iluminação Pública, onde deverá ser mantida igualdade entre receitas e despesas.

Para melhor entendimento é necessário esclarecer o seguinte:

1. A concessionária cobra da prefeitura o consumo de energia por meio da equação 3.1;
2. A forma de arrecadação para cobrir os custos com Iluminação Pública depende da classe de consumo apresentada na Tabela 3.1.

A Tabela 3.1 não apresenta os critérios necessários para o entendimento do rateamento dos custos dos serviços de Iluminação Pública. Torna-se complexa a base de cálculo para conhecimento do valor a ser arrecadado, para comparar os custos de despesas com a receita arrecadada. Busca-se então um ponto de equilíbrio que é o ponto ideal para a sociedade, pois o órgão gestor sendo a prefeitura, estaria entregando à população um serviço dentro dos objetivos a que se destina, ou seja, prestar um serviço sem fins lucrativos.

O ponto de equilíbrio entre esses parâmetros pode ser visualizado na Figura 6 a seguir.



Fonte: Manual de Iluminação Pública – COPEL (2012).

Além do cálculo do consumo tarifado e tributado, é necessário adicionar ao cálculo da COSIP as despesas com a Prestação do Serviço, logo tem-se a equação 3.3 a seguir.

### 3.2.1 – Equação financeira da COSIP



A somatória das despesas com o consumo de energia e prestação de serviços tem como resultado o valor da COSIP a ser cobrada pela concessionária junto ao gestor (prefeitura).

$$\text{COSIP} = (\text{DCE} + \text{DPS}) \quad (3.3)$$

Onde:

COSIP = Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública;

DCE = Despesas com o Consumo de Energia;

DPS = Despesas com a Prestação do Serviço.

Faz-se necessário esclarecer que para se obter os custos com redes de iluminação pública, é importante identificar, quantificar e valorar, todos os componentes envolvidos, em cada uma das etapas de prestação desse serviço (operação, administração, manutenção e descarte) e entender que a COSIP é formada por custos fixos e variáveis, diretos e indiretos.

Após o cálculo da COSIP, que é uma contribuição para custear as despesas da iluminação pública, o município tem que ratear tais despesas entre os consumidores e para isso é necessário arrecadar em forma de receita. A prefeitura faz uso então de tabela para enquadramento por faixa de consumo. Cada faixa de consumo tem uma tarifa. Para melhor entendimento, este capítulo complementa o assunto com os conceitos de custos diretos, indiretos e receita nos tópicos seguintes.

### **3.2.2 Custos e receitas da Iluminação Pública**

#### **3.2.2.1 Custos diretos**

Os custos diretos são aqueles que estão ligados à produção ou oferta do serviço, isto é, sem esse custo não seria possível manter a operacionalidade do serviço. Esse tipo de custo se caracteriza por ser mensurável, ele é prático e pode ser colocado numa planilha. Esses custos se tornam mais fáceis de serem calculados, quando o serviço é terceirizado, pois a empreiteira fatura mensalmente o valor dos custos diretos. A lista com possíveis custos diretos, envolvidos nos serviços de operação e manutenção de rede de Iluminação Pública está disponível no ANEXO III deste trabalho.

#### **3.2.2.2 – Custos indiretos**

Os custos indiretos são aqueles que não possuem ligação direta com o serviço. A principal característica é a impossibilidade da mensuração, ou seja, não existe uma forma de medir as quantidades dos insumos. A lista com possíveis custos indiretos, envolvidos nos serviços de operação e manutenção de rede de Iluminação Pública está disponível no ANEXO III deste trabalho.

### **3.2.2.3 – Receitas**

Os recursos arrecadados com a Contribuição para o custeio do serviço de Iluminação Pública – COSIP, venda de resíduos de materiais retirados da rede de Iluminação Pública, como sucatas de cobre alumínio e ferro e aplicação de valores excedentes da COSIP, formam a receita proveniente desse serviço. Após a abordagem sobre a legislação da COSIP, alguns tópicos devem ser registrados na conclusão deste capítulo. É o que se encontra no item seguinte.

### **3.3 – Considerações finais**

O Capítulo 3 apresentou a segurança jurídica da COSIP, introduzida na CF de 1988 e adotada pelo município de Belém por meio da LEI Nº 8.226/2002, a qual institui a Tabela 3.1, com o objetivo de enquadrar o consumidor em faixas de consumo para efeito de arrecadação da COSIP. Em seguida o capítulo faz referência à RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414/2010 da ANEEL a qual determina a transferência dos ativos do sistema de Iluminação Pública para os municípios. Continua o capítulo abordando a RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 888/2020, onde se observa, pela primeira vez, a legislação fazendo referência ao sistema de gestão de Iluminação Pública para medição e faturamento do consumo. O Capítulo 3 apresenta uma abordagem sobre o tempo considerado para consumo diário para fins de faturamento da energia elétrica em regiões delimitadas pela RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 2.590/2019.

Segue o capítulo dando ênfase à RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000/2021, a qual impõe à concessionária que a mesma deve utilizar as informações do sistema de gestão de iluminação pública do poder público municipal para apurar o consumo mensal dos pontos de iluminação pública sem medição pertencentes a esse sistema, mas impõe ao poder público municipal, que o mesmo deve apresentar projeto técnico específico para tal. Após a abordagem,

sob o ponto de vista legal da COSIP, o capítulo discorre sobre a tarifação e tributação do consumo de energia relativo à Iluminação Pública. Por fim, o Capítulo 3 esclarece a metodologia para formação de preço da COSIP.

Após o entendimento da evolução das tecnologias para iluminação de vias, a explanação sobre as leis que regem esse tipo de sistema e a forma de cálculo do consumo, sua tarifação e tributação, o trabalho apresenta o Capítulo 4, o qual expõe tecnologias atuais para infraestrutura de rede de Iluminação Pública inteligente e eficiente. O capítulo apresenta também uma abordagem de sistemas já implantados em outras cidades com a exposição de estudo de casos. Por fim aborda o impacto que a tecnologia 5G produzirá em uma cidade inteligente.

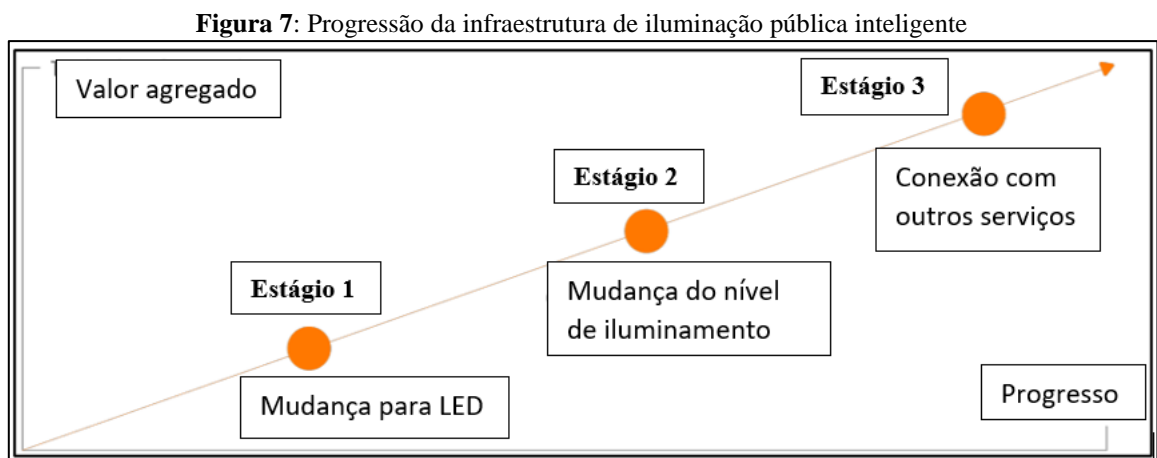
## CAPÍTULO 4 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SISTEMAS 5G

Este capítulo apresentará a evolução da infraestrutura de iluminação inteligente e fará uma abordagem da expectativa que se tem, considerando a nova geração de comunicação móvel 5 G sob o ponto de vista da eficiência energética, ou seja, como o sistema de Iluminação Pública irá se comportar diante das tecnologias atuais, descrevendo a perspectiva do futuro da iluminação pública.

### 4.1 – A eficiência energética e as ações de telecomunicação para sistemas 5g green em redes de iluminação pública

Por meio da adição de dispositivos de coleta de dados, como sensores e câmeras, a infraestrutura de Iluminação Pública pode ser utilizada como uma plataforma para hospedar uma variedade de aplicações incluindo pontos de recarga de veículos elétricos e também como base para redes públicas de Wi-Fi e de transmissão de dados e voz (GRIFFITHS, 2017).

Os pontos de Iluminação Pública podem se tornar o bem mais valioso da cidade para futura implantação de serviços de cidade inteligente. A seguir verifica-se na Figura 7 os três estágios, fases ou passos para o entendimento da progressão da infraestrutura de iluminação inteligente. (GRIFFITHS, 2017).



Fonte: adaptado de Griffiths (2017)

Ainda aproveitando a Figura 7, observa-se que para implementar rede de Iluminação Pública conectada e assim iniciar um processo de preparação para uma cidade inteligente, o

**primeiro estágio** é a mudança de luminárias convencionais para luminárias do tipo LED. Neste passo inicia-se também a efficientização do sistema.

**O segundo estágio** é a conectividade que será crescente, pois existem enormes e novas oportunidades para melhorar a vida urbana por meio de soluções inteligentes e altamente eficientes habilitadas pelas tecnologias de informação e comunicação.

Mudar para a iluminação LED por si só não será suficiente para atender às metas de consumo de energia e redução de custos das cidades. Soluções de iluminação adaptáveis e interoperáveis são necessárias para trazer economia para um nível mais alto (GRIFFITHS, 2017).

Todos os LEDs são dispositivos essencialmente eletrônicos que podem ser conectados a sistemas de controle central para dar aos operadores a capacidade de monitorar e regular os níveis de luz. Diferentes redes estão sendo usadas para conectar esses dispositivos com um Sistema de Controle Monitorado (SCM), incluindo conexões de internet sem fio, frequência de rádio, GPRS (General Packet Radio Services, ou Serviços Gerais de Pacote por Rádio), 3G, linhas de energia e *Internet Protocol* (Protocolo da Internet). Mais comumente, a conectividade de rede é de baixa largura de banda, permitindo que pequenas quantidades de informações sejam enviadas de volta ao servidor de gerenciamento em intervalos regulares (GRIFFITHS, 2017).

Nesse estágio, com o auxílio das redes de comunicação consegue-se com que os operadores de rede de iluminação promovam a mudança dos níveis de iluminação, por exemplo.

**O terceiro estágio** para implantação de uma *Smart City* é a conexão da rede de Iluminação Pública, servindo para ativar outros serviços, não menos importante para a população. Tal assunto será abordado neste capítulo por meio de infraestrutura já implantada em outras cidades.

## 4.2 Cidade de GLASGOW

Glasgow é uma das maiores cidade da Escócia, a Administração da cidade optou por substituir as lâmpadas de sódio por LEDs e, em seguida, procurou conectar as lâmpadas a um sistema de gerenciamento central pela Internet para monitorar seu desempenho e ajustar os níveis de luz com base nas circunstâncias (WALKER, 2017).

A experiência Glasgow foi implantada em três outras cidades:

- **Riverside Walkway**

Foi integrado um sistema de iluminação dinâmica com sensores de movimento que reagem à presença dos cidadãos. As luzes seriam definidas para 20% de brilho, mas aumentariam para 100% quando o movimento fosse detectado. O objetivo era aumentar a segurança em torno da ciclovia e dos espaços abertos próximos, promovendo passeios ativos dentro da cidade.

- **Gordon Street**

Foi implantado um sistema de iluminação dinâmico que pode ser controlado e gerenciado pela internet. As luzes foram equipadas com sensores que forneceram dados em tempo real sobre ruído, qualidade do ar e *footfall* (zoada), a fim de melhorar a compreensão do município sobre o funcionamento da cidade.

- **Merchant City**

Um sistema de iluminação dinâmico foi implantado no centro da cidade para entretenimento e assim, impulsionar a economia noturna, proporcionando um ambiente mais seguro.

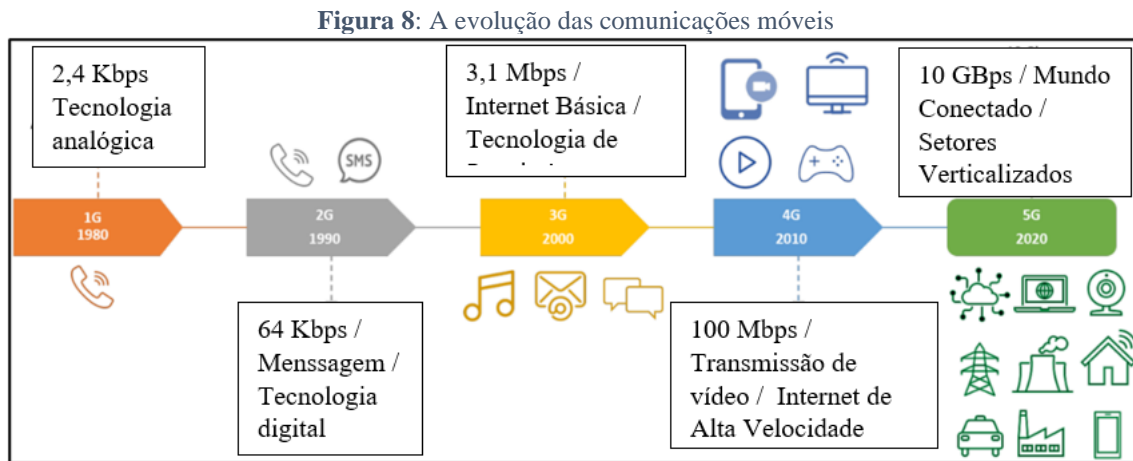
O projeto deu tão certo que irá incorporar infraestrutura de comunicações que formará uma rede Wi-Fi em todo o centro da cidade, além de ser usada para oferecer suporte a sistemas *SMART*, incluindo Internet das Coisas (IoT) e comunicação Máquina-Máquina. O principal objetivo do projeto é criar uma rede de padrão aberto que permitirá a conexão de infraestruturas cotidianas, como escaninhos, veículos, monitoramento da qualidade do ar e contadores de passos, para coletar dados em tempo real. Os dados serão enviados para a equipe de análise de dados da prefeitura e serão usados para informar as decisões sobre a prestação de serviços.

O projeto “Demonstrador” de eficiência energética de Glasgow explora essas áreas e investiga possíveis soluções baseadas em dados valiosos para criar um retrato detalhado do consumo de energia da cidade e agir sobre os fatores que mudam o perfil de consumo de energia do cidadão.

### **4.3 O papel da tecnologia 5g em uma cidade inteligente**

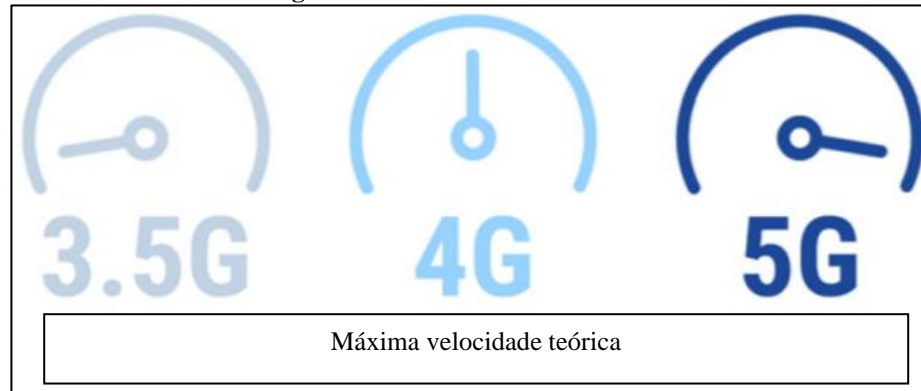
A quinta geração (5G) de comunicação móvel sem fio permite que um novo tipo de rede de comunicação conecte tudo e todos. O 5G terá um impacto profundo nas economias e sociedades, pois fornecerá a infraestrutura de comunicação necessária exigida por vários aplicativos de cidades inteligentes. (GOHAR, 35).

A revolução das telecomunicações, particularmente a comunicação móvel sem fio, fez um progresso significativo à medida que evoluiu através de várias gerações, conforme mostrado na Figura 8.



Fonte: adaptado de (Lucky, 2006)

5G é a próxima geração de tecnologia celular sem fio. Esta tecnologia fornecerá velocidades mais rápidas do que qualquer geração anterior em até 3000 Mbps (3 Gbps) no mundo real, dependendo das condições e da tecnologia sendo usada, competindo mesmo com aquelas fornecidas por cabos de fibra óptica. Filmes que levaram minutos para baixar com 4G levarão segundos com 5G. A Figura 9 ilustra a velocidade máxima teórica de transmissão das tecnologia 3.5G, 4G e 5G.

**Figura 9:** Máxima velocidade teórica

Fonte: adaptado de PLATFORM (2021).

A Tecnologia 5 G apresenta altas velocidades e baixa latência, que nada mais é do que o tempo gasto (medido em milissegundos, ou ms) para um dispositivo obter uma resposta da torre de celular ou do link de rádio da conexão, e isso envolve o envio de mensagens, dados e outros comandos, ou seja, na internet quer dizer a quantidade de atraso (o tempo) que uma solicitação leva para ser transferida de um ponto para outro (CASTRO-DELGADO; QUINTERO-FLÓREZ, 2020).

Essa tecnologia pode ajudar a permitir uma transmissão de energia mais econômica e velocidades de conexão mais rápidas podem resultar em redes de energia sendo gerenciadas com mais eficiência, o que, por sua vez, pode levar a menos tempo de inatividade. Por exemplo, no caso de uma queda de energia, as redes elétricas inteligentes equipadas com 5G podem fornecer rapidamente informações sobre o problema usando dados e sensores.

Os sistemas de Iluminação Pública são ativos verticais essenciais em implantações de cidades inteligentes e as autoridades que governam as cidades podem economizar dinheiro em suas contas de serviços públicos e custos de manutenção, adotando iluminação LED conectada e, ao mesmo tempo, aproveitando o valor de seus sistemas de Iluminação Pública para obter benefícios adicionais. Por outro lado, os altos preços dos sistemas de iluminação com conexão inteligente são um fator significativo para impedir o crescimento desse sistema, passando a ser um desafio a ser enfrentado. No entanto, a crescente implantação de alta confiabilidade, alto desempenho, tamanho compacto e baixo consumo de energia daria suporte ao crescimento da infraestrutura de Iluminação Pública.



Uma estrutura operacional de serviços ponto a ponto 5G foi demonstrada em um sistema de iluminação inteligente chamado de **PROJETO MATILDA** que é um dos projetos 5G apoiados pela Parceria Público Privada (PPP) de Infraestrutura 5G da EU (União Europeia), a qual realizou a demonstração no campus da Universidade Politécnica em Bucareste, Romênia, como um exemplo que pode ser prontamente implantado em uma estrutura 5G. O projeto foi iniciado em junho de 2017 (JONES, 2020).

O projeto tinha como objetivo, implementar as características principais como: controle remoto seguro em tempo real de todos os postes de iluminação na rede, levantar o histórico em tempo real do consumo de energia e tempo real de mau funcionamento de lâmpadas, perda de energia ou roubo de energia.

Os benefícios direcionados incluíram operação de rede sem toque e eficiência de custos e menor tempo de ação. O projeto conectou 56 postes de iluminação distribuídos em cinco circuitos, buscando alcançar os objetivos propostos que era incrementar inovações orientadas à aplicativos (JONES, 2021).

Este estudo foi realizado em três meses e destaca como as operadoras móveis podem compensar os ganhos de energia durante suas implantações, ajudando-as a serem ambientalmente responsáveis, ao mesmo tempo que permitem obter economias de custo relevante.” (JONES, 2020).

#### **4.4 – Considerações finais**

O capítulo 4 apresentou a evolução da infraestrutura de iluminação inteligente necessária à implantação de *Smart City* (Cidade Inteligente). O capítulo mostrou os três estágios para uma cidade iniciar a implantação do conceito de cidade inteligente. Começando com o primeiro passo que é o “*retrofit*” (modernização) da rede de Iluminação Pública, isto é, substituição as lâmpadas de descargas por tecnologia LED, em um segundo passo que seria a conexão entre as lâmpadas do tipo LED com o sistema de gestão remoto e o terceiro passo a conexão desse serviço a outros. Esses são os estágios necessários para fazer da rede de Iluminação Pública, sair de uma condição passiva para uma plataforma dinâmica.

O Capítulo 4 mostra ainda experiência já vivida pelos cidadãos que moram e visitam a cidade de Glasgow na Escócia, onde esse tipo de recurso tecnológico já funciona. Continua o capítulo apresentando o impacto da tecnologia 5G na operação de uma rede de iluminação pública e seus benefícios, sob o ponto de vista da eficiência energética. A tecnologia 5 G poderia ter sido inserida

no Capítulo 2, o qual discorre sobre a estado da arte, porém, devido à importância do assunto, mereceu destaque com um capítulo, praticamente todo para abordagem do tema, pois além de ser um avanço tecnológico, gera uma grande expectativa de inovação para se obter uma eficiência energética considerável e eleva a iluminação pública a um lugar de destaque nos projetos de *Smart City*.

O próximo capítulo, apresenta os equipamentos necessários à medição ponto a ponto e elementos que fazem a comunicação do ponto ao servidor via WI-FI, com armazenamento nas nuvens. O Capítulo 5 faz uma abordagem também, do sistema de segurança em caso de ataque de hackers. Continua o capítulo discorrendo sobre o sistema de telegestão com a apresentação da interface homem-máquina, faz referência à descrição do experimento utilizado para teste dos equipamentos, contemplando a análise gráfica dos parâmetros elétricos medidos.

## **CAPÍTULO 5 – SISTEMA DE MEDIÇÃO, COMUNICAÇÃO E TELEGESTÃO DESENVOLVIDO**

Este capítulo se propõe a detalhar os equipamentos e suas funcionalidades para um sistema de medição de gerenciamento de Iluminação Pública. São descritos os componentes de medição para análise da energia fornecida ao ponto de Iluminação Pública, atendendo às exigências da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), tendo como objetivo a medição de energia faturável. É apresentado também um módulo medidor de energia elétrica, capaz de medir além do consumo de energia total, os parâmetros elétricos necessários à discriminação de consumo de energia por luminária pública. Faz referência ainda neste capítulo, ao sistema de comunicação adotado para o monitoramento remoto e aborda a técnica utilizada para o sistema de gerenciamento de dados. O Capítulo 5 contempla o desenvolvimento da instrumentação para tornar possível a medição ponto a ponto, conforme objetivo desta dissertação.

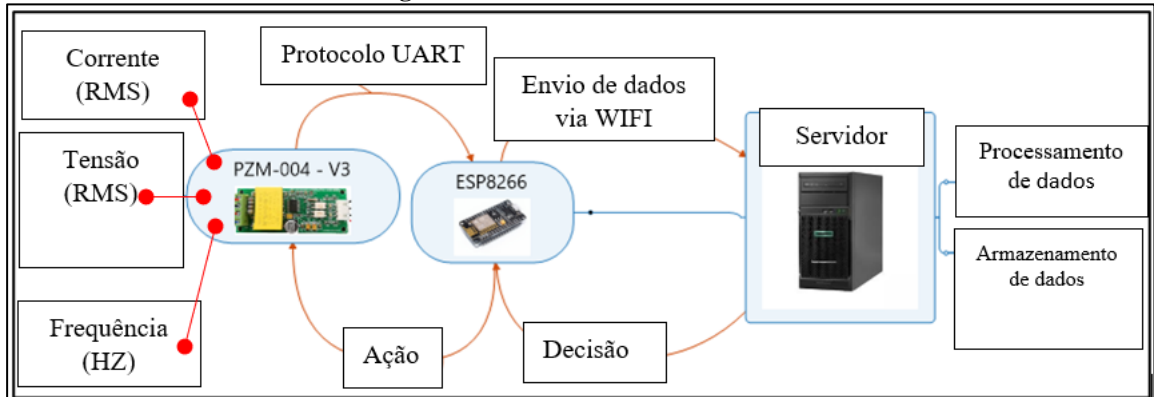
### **5.1 – Sistema de medição / comunicação**

Para melhor entendimento do sistema de aquisição de dados, comunicação e análise que este trabalho está propondo, faz-se uso de um diagrama apresentado na Figura 10, o qual ilustra o fluxo de informações do sistema, onde as grandezas de entrada, corrente, tensão e frequência alimentam o módulo de medição PZM-004-V3, o qual decodifica os dados para o microprocessador (ESP8266). Esse *chip* é então programado em Arduino, decodifica e disponibiliza os dados em nuvem. O ESP8266 serve como “Ponte Serial-WiFi”, ou seja, de um lado, recebe comandos via Serial (UART) e interagem com a rede WiFi por meio de conexões TCP/UDP, isto é, trabalha como um receptor-transmissor assíncrono universal (UART).

A comunicação pela internet é feita, basicamente, através de protocolos, sendo o TCP (*Transmission Control Protocol*) um dos mais importantes deles. Isso porque o TCP está incluído no conjunto de protocolos que formam, a base de comunicação via dados de toda a internet (CURVELLO, 2015).

Assim o servidor passa a ter acesso ao banco de dados e com o acesso às informações, pode-se então tomar a decisão e enviar o comando para o microprocessador, este, ao receber a informação transmite a ação para o módulo PZM-004-V3, o qual aciona os atuadores.

**Figura 10:** Fluxo de dados do sistema



Fonte: autores.

Vale ressaltar que a interface TTL deste módulo PZM-004 – V3 é uma interface passiva, isto, requer fonte de energia externa 5V e necessita de um transformador de corrente para aquisição dos dados.

A seguir o Capítulo 5 destaca todos os componentes mínimos necessários para demonstrar o funcionamento do protótipo proposto.

### 5.1.1 – Transformador de corrente (TC)

O transformador de corrente PZCT-02 ilustrado na Figura 11 é um equipamento que tem o objetivo de detectar a corrente em cabos que conectam a luminária à rede de distribuição, ou seja, constata a corrente da lâmpada, adicionada à corrente do reator se a lâmpada for de descarga e transforma essa corrente em uma outra de menor valor, para ser transmitida a um instrumento de medição. O transformador se faz necessário também pelo fato de que é impraticável a ligação de instrumentos em circuitos de alta corrente, sendo necessário reduzir a corrente primária para valores secundários menores sem introduzir erros fora da conformidade, de relação e/ou fase. É um equipamento essencial nos sistemas elétricos de Iluminação Pública monitorados, tendo como função relatar as condições reais do sistema tanto em regime permanente como durante transitórios, ou ainda, isolar e proteger o circuito secundário do primário, proporcionando assim,

segurança nas operações e reduzindo custos com montagens e cabos. Para este trabalho utilizou-se de um transformador com tamanho reduzido com taxa de erro de 1% de fabricação YHDC Dechang Electric.

**Figura 11:** TC: 1.000/1, 10 Ohms, (0 – 100 A) taxa de erro de 1%



**Fonte:** autores.

#### Características:

1. Mini transformador de corrente;
2. O diâmetro do furo interno é de 16mm, a precisão é  $\leq 0,5$  grau,
3. Usando estrutura articular *desnap*, pode ser fixada no cabo diretamente através de gravatas de nylon.
4. Bobina de entrada embutida; pequena e leve, fácil de instalar.
5. Especificações:
  - Marca: SCT027H - Modelo: PZCT-02
  - Temperatura do ambiente:  $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$
  - Umidade relativa:  $\leq 90\%$ ( $40^{\circ}\text{C}$ )
6. - Frequência de trabalho: 50Hz~60Hz
7. - Grau de resistência de isolamento: B grau ( $130^{\circ}\text{C}$ )
8. - Resistência interna: 10 W
9. - Faixa de medição: 0-100A
10. - Peso: 59g

Para uma medição de grandezas elétricas como potência e energia, por exemplo, não basta a medição apenas da corrente, necessita-se da medição de tensão e para tal a pesquisa levou ao módulo de comunicação AC PZEM-004T-100A, descrito no próximo item.

### 5.1.2 – Medidor de consumo elétrico com Arduino e módulo de comunicação AC PZEM-004T-100 A

Este item descreve a especificação do PZEM-004T mostrado na Figura 12 que é um módulo de comunicação AC (Corrente Alternada). O módulo é utilizado para a medição de tensão alternada, a corrente, a potência ativa, a frequência, o fator de potência e energia ativa. Não tem função de exibição, os dados são lidos pela TTL serial (*Transistor-Transistor-Logic*). Módulo de transmissão transparente de porta serial WiFi DT-06 TTL para WiFi com interface *bluetooth*). Alguma das vantagens que este módulo proporciona, consiste basicamente na alta isolamento galvânica a partir dos opto acopladores (PC817), a comunicação TTL isolando cada parâmetro e por fim, a aquisição e armazenamento de dados com uma memória EEPROM (SILVA, 2019).

**Figura 12:** Módulo de comunicação AC PZEM-004T-100 A



**Fonte:** autores.

A Figura 12 a seguir, ilustra o tamanho reduzido do referido módulo, o qual apresenta a função de alarme de sobre potência. O alarme é acionado quando a potência ativa medida excede o limite previamente definido.

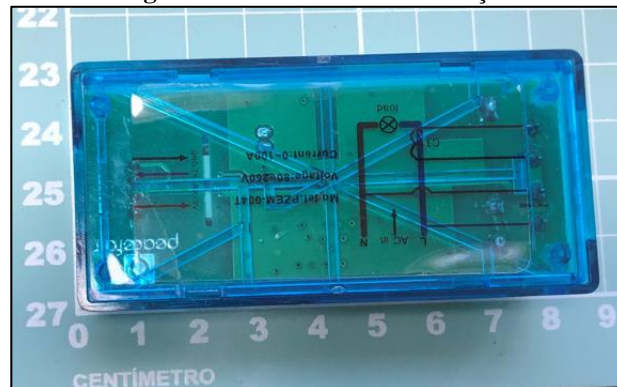
Um diferencial apresentado pelo módulo PZEM-004T é a capacidade de fazer as medições sem contato, já que conta com um transformador de corrente (TC) com capacidade para medição de corrente alternada de até 100A.

Pode-se, com esse módulo, realizar todas as medições das grandezas elétricas citadas e dispor de algumas funções para estabelecer alarmes de consumo e totalizadores. A PZEM004T funciona independentemente do Arduino e se comunica com este através da interface serial: o Arduino envia comandos e o módulo retorna com os dados.

A seguir a Figura 13 ilustra o módulo de comunicação, o qual faz a aquisição dos dados e o Arduino transcreve esses dados para linguagem de máquina e envia as informações para o ESP 8266, o qual será descrito adiante.

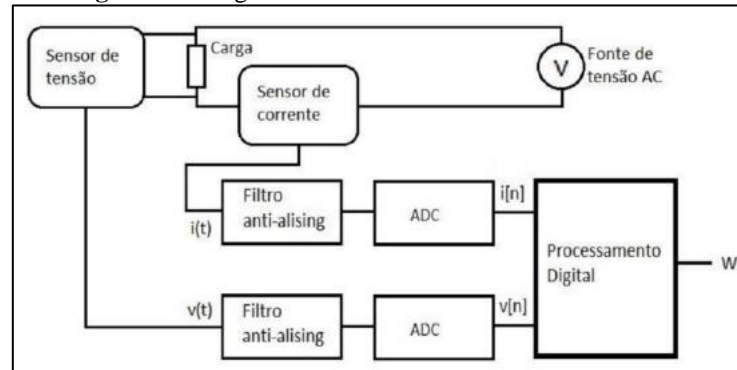
A camada física usa interface de comunicação UART para TTL e a taxa de transmissão é de 9600, 8 bits de dados, 1 bit de parada, sem paridade.

**Figura 13:** Módulo de Comunicação



**Fonte:** autores

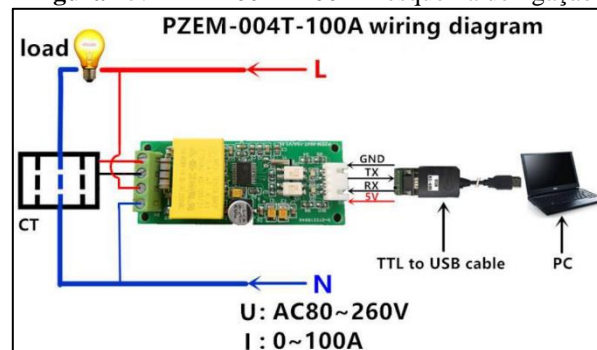
O monitoramento é feito por dois sensores, um de corrente em série com a carga que fornece uma tensão proporcional à corrente que flui através da carga, e outro para a tensão em paralelo com a carga que fornece uma tensão proporcional à tensão na carga. Os sinais provenientes desses sensores passam através de filtros (*anti-aliasing*) analógicos e são amostrados pelos circuitos de conversor analógico-digital (ADC). Os sinais coletados passam por um estágio de processamento de sinal digital (DSP) a partir do qual a potência ativa é calculada. O valor da energia consumida pela carga é calculado integrando essa energia ao longo do tempo. A Figura 14 a seguir mostra um diagrama de blocos que exemplifica o funcionamento de um medidor eletrônico.

**Figura 14:** Diagrama de Bloco de um Medidor Eletrônico

Fonte: NASCIMENTO (2020).

O núcleo do módulo é constituído de um SoC V9881d, desenvolvido pela Vango Technologies. A série de *chips* SoC da família V98XX de e atribuído a mensuração de energia em rede monofásica, o dispositivo conta com consumo de energia muito baixo e alto desempenho. Ele integra o *Analog Front-End* (AFE), arquitetura de medição de energia, 8052 MCU núcleo aprimorado, RTC, WDT, memória Flash, RAM e disponibilidade para driver de LCD (RASHID, 2014). Pode ser usado para aplicações de medidores de energia multifuncionais monofásicos.

A Figura 15 ilustra o módulo de comunicação aberto e suas ligações à carga, conexões com o TC. Ilustra ainda a saída para coleta de dados. O diagrama de blocos e conexões, bem como as características técnicas do referido módulo, estão dispostos com detalhes no ANEXO A.

**Figura 15:** PZEM-004T-100A – esquema de ligação

Fonte: manual do equipamento.



O módulo PZEM-004T- 100 A necessita de uma alimentação para ser ativado, ou seja, uma fonte de tensão, tipo a de um carregador de celular, por exemplo. É o que está descrito na próxima secção em detalhes.

### 5.1.3 – Fonte chaveada 5 volts (DC) – 1 A

Para a alimentação do módulo PZEM-004T-100 A, faz-se necessária a presença de uma fonte de energia, conforme a Figura 16 com plug: P4 (2,4mm - 9mm - 5mm); Modelo: FTSP650EFA com LED Indicador.



Fonte: Autores

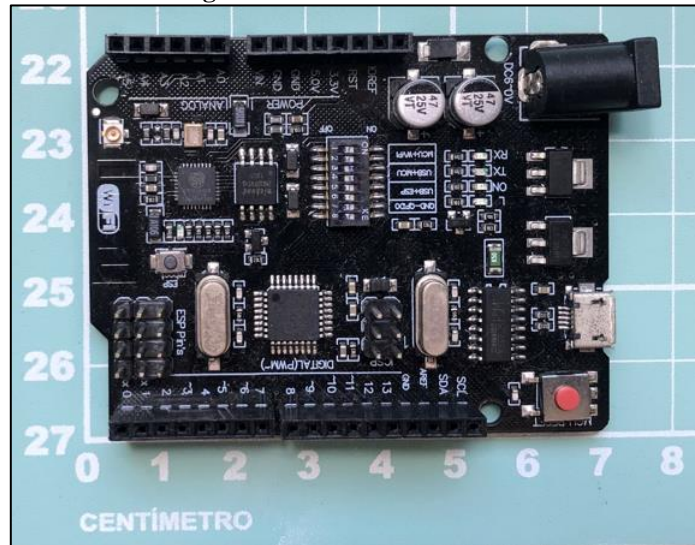
O próximo equipamento para demonstrar o alcance do objetivo deste trabalho é um microcontrolador fabricado pela empresa Espressif System em 2014, o qual possui WiFi integrado. O ESP8266 é um **módulo de sistema Wi-Fi no chip** (SoC) desenvolvido pelo sistema **Espressif**. É utilizado principalmente para o desenvolvimento de aplicações integradas na IOT, *Internet of Things* e agrega boa capacidade de memória de armazenamento global e conexão sem fio (WiFi, padrão IEEE 802.11), sendo também compatível com a maioria dos módulos e códigos da plataforma Arduino. Este micro processador é descrito na próxima secção a seguir.

### 5.1.4 – Módulo ESP 8266

Este módulo tem duas características muito importantes, o que motivou a sua utilização: 1. tamanho muito reduzido, como ilustra a Figura 17 a seguir; 2. o preço, na faixa dos \$5,00.

O ESP 8266, além de possuir WiFi integrado, contempla um processador 160 MHz, Comunicação de 2.4 GHz e memória de 8 Gb (padrão 512 Mb). Tem como principais funções: coletar, transmitir e processar dados por meio da atuação de sensores. Pode-se afirmar que é uma plataforma de conectividade e sua arquitetura está ilustrada no diagrama de bloco no ANEXO I.

**Figura 17: MÓDULO: ESP 8266**



Fonte: autores.

Os módulos ESP8266 são fornecidos numa ampla variedade de modelos, com diferenças perceptíveis principalmente no que tange à quantidade de IoS (*Internet of Services*) disponíveis para acesso externo, e no tamanho do módulo. Até o presente momento, “oficialmente” existem módulos numerados de ESP-01 até ESP-12.

Os demais também podem operar nesse modo, embora sejam capazes de desempenhar mais funcionalidades, inclusive, de operarem em modo *standalone*, ou seja, como microcontroladores com Wi-Fi.

O ESP8266 também se destaca pela facilidade com que o mesmo pode ser integrado às demais soluções, bastando, por exemplo, o uso de uma comunicação serial UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) (Transmissor e Receptor Assíncrono Universal) [27]. Maiores detalhes de conexão e diagrama de bloco, bem como outras características, estão dispostos no ANEXO A.

Neste trabalho foi utilizado um *shields* de expansão, como ilustra a Figura 18 a seguir, somente para maior flexibilidade para conexão de outros sensores, caso necessário.



## 5.2 – Arduino UNO

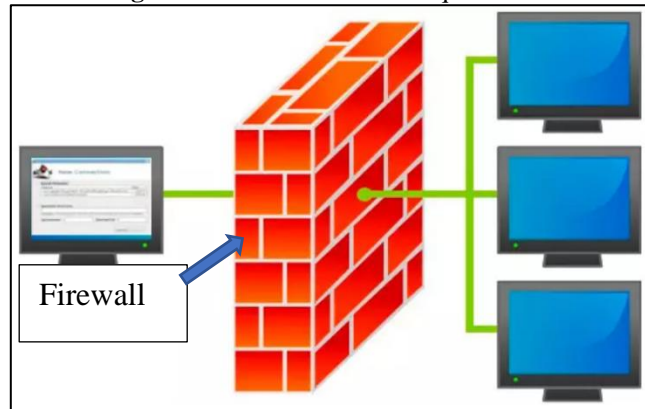
O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open-source* que se baseia em *hardware* e *software* flexíveis e fáceis de usar. O Arduino pode reconhecer o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem *Wiring*, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente *Processing* (processamento).

No caso em discussão, por exemplo, o módulo PZEM, mede a potência de uma lâmpada com 50% da sua capacidade em watts e como os sensores estão conectados à plataforma Arduino que por sua vez se comunica com o ESP 8266 via UART, o ESP então faz a postagem de dados por Wi-Fi para o servidor. Este servidor processa as informações e analisa que, por medida de segurança, a referida lâmpada deve ser desligada, por exemplo, logo, o servidor faz o armazenamento da informação e envia uma decisão para o ESP. Este finalmente, utilizando o Arduino, age com o comando para que o relé desligue a lâmpada.

O sistema funciona conforme descrito, porém qual a garantia que se tem em termos de segurança digital? Este assunto será abordado na próxima secção.

## 5.3 – Segurança do sistema

Em relação à segurança das informações do sistema de comunicação, o qual é dependente totalmente de um servidor, faz-se uso da instalação de um firewall, que é uma solução de segurança baseada em *hardware* ou *software* (mais comum) que, a partir de um conjunto de regras ou instruções, analisa o tráfego de rede para determinar quais operações de transmissão ou recepção de dados podem ser executadas. É uma barreira entre um computador e o “mundo exterior”, ou seja, é uma solução de segurança tanto para proteção de dados quanto para bloqueio para ataque tipo DDoS (*Distributed Denial of Service*), que é um ataque distribuído de negação de serviço, como ilustra a Figura 20.

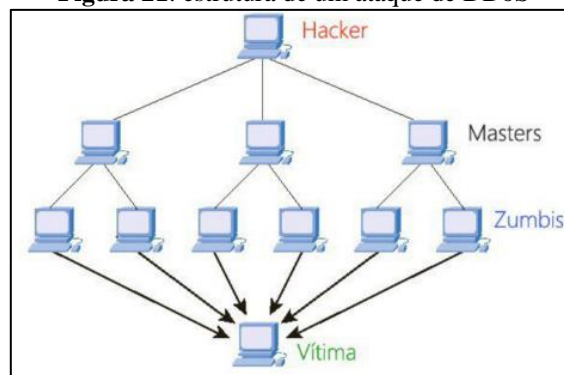
**Figura 20:** estrutura de um ataque de DoS

**Fonte:** Canaltech. Disponível em <https://canaltech.com.br/produtos/o-que-e-dos-e-ddos/>

O ataque do tipo DoS (*Denial Of Service*), também conhecido como ataque de negação de serviço, é uma tentativa de fazer com que aconteça uma sobrecarga em um servidor ou computador comum para que recursos do sistema fiquem indisponíveis para seus utilizadores.

Já no ataque distribuído de negação de serviço, conhecido como DDoS, o ataque acontece de forma similar ao DoS, porém, ele ganha algumas camadas extras. Nele, um computador mestre pode gerenciar uma série de outros computadores, que são chamados de zumbis.

Por meio do DDoS, o hacker ou cracker invade um computador mestre e este, por sua vez, escraviza várias máquinas, fazendo com que elas passem a acessar um determinado recurso em um servidor todos ao mesmo tempo. Assim, todos os zumbis acessam juntamente e de maneira ininterrupta o mesmo recurso de um servidor, tentando sobrecarregá-lo (COSTA, 2014), conforme Figura 21 a seguir.

**Figura 21:** estrutura de um ataque de DDoS

**Fonte:** Canaltech. Disponível em <https://canaltech.com.br/produtos/o-que-e-dos-e-ddos/>

Existe um elo mais frágil, que tem as suas vulnerabilidades de segurança que é o aplicativo. É por meio dele que serão dadas as ordens ou comandar ações manuais para o servidor, porém existem duas abordagens:

- a) um módulo é totalmente “ignorante”, apenas passivo e se comunica informando o servidor;
- b) o módulo tem uma instrução de uso. No caso de o módulo não ter uma conexão direta com o servidor, por exemplo, se o servidor perder a conexão ou estiver com problemas de acesso, o módulo sempre vai dar preferência para a comunicação via servidor, porém, caso não seja possível, então o módulo vai utilizar a instrução de uso gravada na memória tipo EPROM, para ler as características dos sensores como horários programados por exemplo e trabalhar como se fosse uma instrução de inteligência para os sensores como *offset* de luminância, *offset* de temperatura, isto é, fará uso da instrução do tipo manual, como se fosse um controlador de luminância por exemplo.

Um dos problemas mais comuns de vulnerabilidade de aplicativos é o “uso de protocolo *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)* não encriptado”, encontrado em vários aplicativos. Isso significa que o software transmite dados na forma de texto em canal que pode ser visualizado por terceiros não autorizados, o que pode levar à evasão de dados. Outra ameaça encontrada em aplicativos é um “gerador previsível de números aleatórios”. Isso pode “levar a uma quebra de criptografia se o gerador for usado em áreas críticas, expondo informações sensíveis”.

No próximo item é informado o padrão de rede sem fio utilizado para comunicação dos equipamentos que podem ser utilizados para a gestão remota.

#### **5.4 – Padrão IEE (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos)**

A comunicação utilizada nesta dissertação, para acesso às informações, se faz por meio de Protocolo Wi-Fi em padrão (IEEE 802.11N), Protocolo TTL (*Time To Live*) (Tempo de Vida do Pacote de informações) entre os módulos de medição e comunicação. Faz-se uso também de *Cloud Messaging* (mensagens em nuvens) para envio de informações de Leituras.

Redes que usam o padrão 802.11n trabalham nas faixas de 2,4 GHz e 5 GHz com velocidades superiores a 100 Mbps. Faixa de frequência: 2,4GHz - 2,5GHz. A Figura 22 ilustra o sistema WI-FI.

Vale ressaltar que a implementação do 5G em território nacional se aproveita da oferta de equipamentos já utilizados para o 3G e 4G. As faixas de 700MHz, 2,3 GHz e principalmente a de 3,5 GHz serão aquelas mais utilizadas pela sua capacidade (BAPTISTA, 2021). Portanto, o sistema apresentado neste trabalho não terá incompatibilidade com a tecnologia 5G.

**Figura 22:** Protocolo Wi-Fi 80211N



**Fonte:** disponível em WWW.INFO WESTER.

Definido o padrão de rede sem fio, as atenções partem para o sistema de telegestão, o qual será descrito a seguir.

### 5.5 – Sistema de telegestão

O Sistema de Telegestão, pode ser qualquer um que possibilite as seguintes características mínimas:

1. A interface com o usuário é a porta e ao mesmo tempo o filtro para utilização apenas de quem pode ter acesso ao sistema. É a parte do sistema visível para o usuário, por meio dela, o usuário se comunica com o objetivo de realizar suas tarefas. É a primeira tela do aplicativo, mostrado na Figura 23a.
2. A segunda tela de interação com o usuário é mostrada na Figura 23b e apresenta seis botões, sendo:

- a) **Botão Módulos Conectados:** visualiza-se o registro de todos os módulos com seus respectivos endereços, por meio da tela mostrada na Figura 23c
  - b) **Botão Dados Gerais:** encontra-se todos os dados das grandezas elétricas medidas pelo sistema, de acordo com o módulo selecionado no botão Módulos Conectados;
  - c) **Botão Geolocalização:** ilustra todos os pontos cadastrados no sistema, com as coordenadas georreferenciadas;
  - d) **Botão Telegestão:** acionando esse botão, abre-se a tela mostrada na Figura 24c e com a escolha do módulo, se verifica, por exemplo a conectividade do módulo, o seu IP e pode-se programar as ações de manutenção, operação, dimerização de um determinado ponto, ligar/desligar um determinado ponto ou pontos;
  - e) **Botão Aleta:** permite que o analista receba mensagens de falhas como lâmpada queimada, por exemplo, ou uma simples falta de energia em um determinado setor mapeado;
  - f) **Botão Programador:** por meio desse botão, o operador do sistema pode programar um desligamento de determinados pontos em horário pré-determinado, ou ligar / desligar uma luminária em horário fora da rotina normal por exemplo.
3. A Figura 23c, ilustra a tela do aplicativo onde todos os módulos estão disponíveis para se verificar o status de um módulo específico, por exemplo.

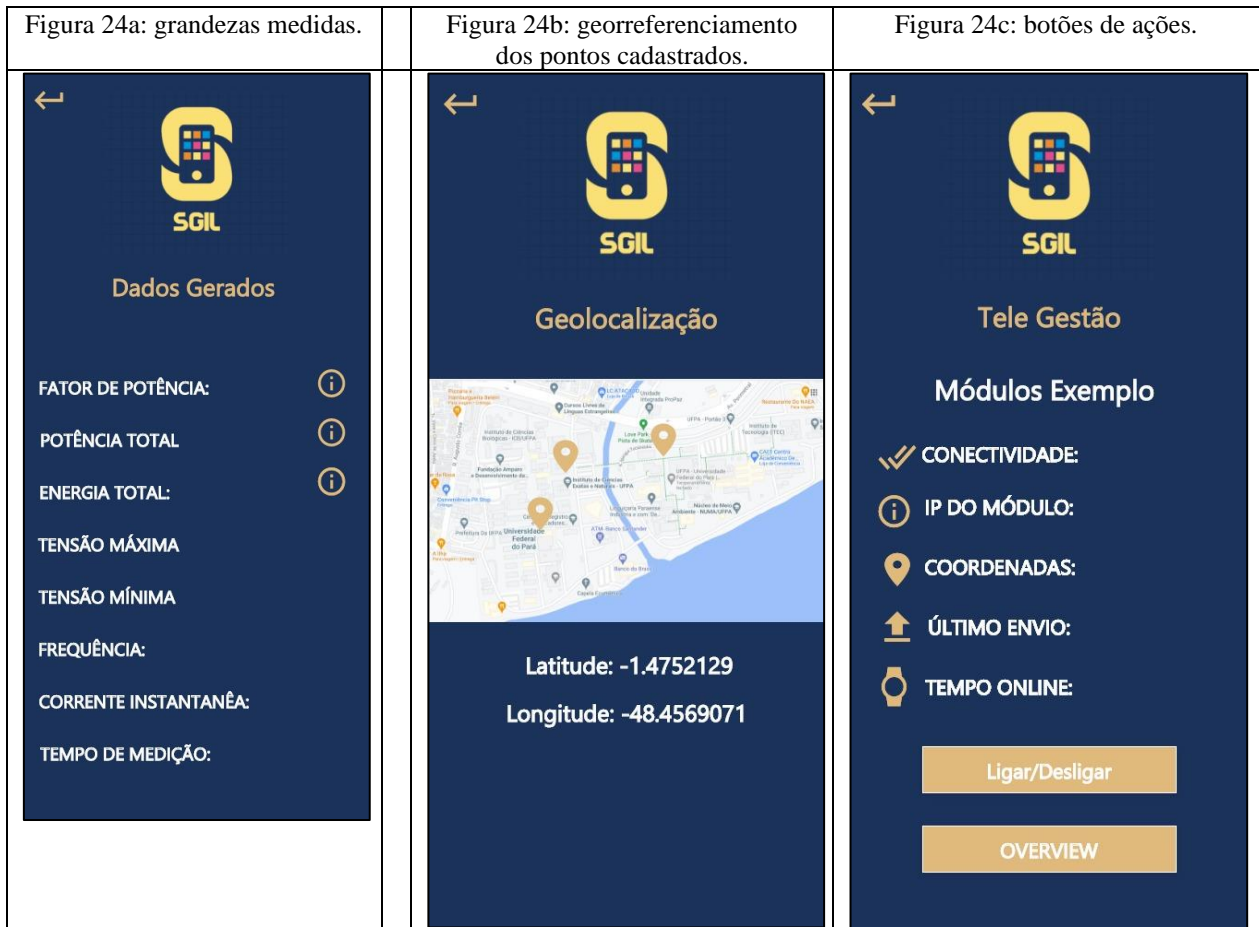
Vale ressaltar que neste trabalho foi considerado apenas um exemplo de aplicativo, com o mínimo que uma interface pode contemplar para que o sistema de medição ponto a ponto possa interagir com o gestor de forma remota. Observa-se ainda que existem vários aplicativos no mercado que podem atender esse tipo de sistema, porém pode-se personalizar o aplicativo para atender à peculiaridade de um determinado município gestor.



**Figura 23:** páginas do aplicativo de gestão

Fonte: autores

4. Na Figura 24a pode-se encontrar as grandezas medidas por exemplo a tensão máxima de um determinado ponto de luz em um determinado período.
5. A tela de geolocalização permite que se tenha acesso aos pontos cadastrados e georreferenciados do sistema como pode ser visualizado na Figura 24b.
6. E por último, não menos importante, tem-se a tela mostrada na Figura 24c, por meio da qual, ao se fazer a opção por um determinado módulo, pode-se verificar a sua conectividade, Iluminação Pública, geolocalização, monitorar o tempo e tomar a decisão de ligar ou desligar.

**Figura 24:** páginas do aplicativo de gestão

Fonte: autores.

Em resumo, apresenta-se na Figura 25 o fluxo de acesso às telas do aplicativo para que o usuário do sistema tenha facilidade de “navegar”. A tela inicial apresenta as principais funcionalidades do aplicativo, o qual pode ser acionado pelo servidor ou computadores escravos ou simplesmente por um celular. A “navegação” deve ser intuitiva, portanto, de fácil compreensão.

Importante também, é chamar a atenção para as possibilidades de atualização do aplicativo. Deve prever a comunicação com outros sistemas e no caso em questão, problemas em luminárias, como lâmpadas acesas durante o dia, apagadas à noite ou piscando, são identificadas na hora da ocorrência e o sistema pode enviar uma mensagem em forma de texto ou um sinal sonoro para que uma ação seja tomada de forma remota.

**Figura 25:** telas acessadas a partir do menu principal



Fonte: autores

Após a descrição detalhada do sistema de gestão por meios de equipamentos que medem ponto a ponto o consumo de uma rede de Iluminação Pública, partiu-se para o experimento de medição de um ponto de luz para constatação da funcionalidade do sistema de medição e os resultados são expostos na próxima secção.


## 5.6 – Resultados e discussão

Para ilustrar a aplicação da metodologia de medição, este capítulo relata o experimento realizado com uma luminária em funcionamento por um período em torno de 3h20m (três horas e vinte minutos), sendo realizada a medição do ponto de luz e a partir de então se fez a extração dos dados para a análise por meio de gráficos e comparação dos resultados das grandezas medidas com parâmetros normativos. A seguir a descrição do experimento, fazendo-se uso do protótipo proposto.

### 5.6.1 Descrição do experimento

Utilizou-se de uma luminária tipo projetor de 100W de fabricação ELGIN, como ilustra a Figura 26, ligada a um circuito 127 Volts. As especificações e características da referida luminária encontram-se na Figura 27. O protótipo foi conectado à luminária, então realizou-se a medição a cada 15 segundos.


**Figura 26:** Luminária ELGIN – 100W



**Fonte:** autores.

**Figura 27:** Dados Técnicos da luminária

| DADOS TÉCNICOS                             |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Potência: <b>100W</b>                      | IRC: <b>70 (R9&gt;0)</b>            |
| Tensão: <b>100 - 240V</b>                  | Temp. de Cor: <b>6.500K</b>         |
| Frequência: <b>50/60Hz</b>                 | Efic. Luminosa: <b>55 lm/W</b>      |
| Fluxo Luminoso: <b>5.500 lm</b>            | Índice de Proteção: <b>IP65</b>     |
| Corrente (127V/220V): <b>875mA / 505mA</b> | Fator de Potência: <b>0.9</b>       |
| Vida Útil (L70): <b>25.000 h</b>           | Dimensões: <b>185 x 250 x 33 mm</b> |
| Ângulo de Abertura: <b>120°</b>            | Peso: <b>823g</b>                   |


 **Não permite dimerização**

Indicado para uso externo como jardins, fachadas, estacionamentos, acessos de fiscalização e segurança. O LED de alta potência, em conjunto com o seu refletor, garantem boa abrangência e alcance luminoso. Garantia de 1 ano contra defeito de fabricação.


ELGIN DISTRIBUIDORA LTDA  
CNPJ: 07.023.429/0001-43 - Rodovia Jorge Lacerda, nº 1.295 - Espinheiros - 88317-902 - Itajaí/SC  
Produzido na China - Cód. ELGIN: 48RPLED100G0 - Validade Indeterminada - 1 ano de Garantia  
Contém: 1 unidade - As especificações e o design do produto estão sujeitos a alterações sem aviso prévio - Imagem do produto meramente ilustrativa

- Não emite radiação ultra-violeta
- Recomendado para uso externo
- Alto poder de luminosidade
- Baixo consumo de energia
- Resistente às intempéries
- Antes de instalar, verifique se a rede elétrica está desligada

ATENDIMENTO AO CONSUMIDOR  
**0800 70 35446** (ELGIN)  
GRANDE SÃO PAULO: 3383 5555  
acesso: [www.elgin.com.br](http://www.elgin.com.br)



Descarte em local apropriado.



7 897013 687054

**Fonte:** embalagem do produto.

As medições foram registradas com o tempo em hora e cada medição foi identificada de 1 a 820. Na coluna da tensão ficaram os registros de tensão referente a cada medição, e assim se procedeu para o preenchimento de todas as outras colunas, como corrente, potência frequência, fator de potência e consumo, formando um banco de dados. Após 820 registros foram extraídos os dados importantes das grandezas medidas. Esses dados foram dispostos, conforme Figura 28 a seguir, sendo que o fator de potência se manteve constante em 0,93 para todas as medições realizadas.

**Figura 28:** Informações importantes retiradas da banco de dados.

| V <sub>máx</sub><br>(V) | V <sub>mín</sub><br>(V) | V <sub>méd</sub><br>(V) | I <sub>máx</sub><br>(A) | I <sub>mín</sub><br>(A) | P <sub>máx</sub><br>(W) | P <sub>mín</sub><br>(W) | F <sub>máx</sub><br>(HZ) | F <sub>mín</sub><br>(HZ) | C <sub>máx</sub><br>(Wh) | C <sub>mín</sub><br>(Wh) | C <sub>méd</sub><br>(Wh) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 128,7                   | 125,1                   | 127,1                   | 0,63                    | 0,56                    | 74,10                   | 59,80                   | 60,10                    | 59,80                    | 227,21                   | 0,3088                   | 114,60                   |

Fonte: Autores.

Sendo:

- V<sub>máx</sub>: tensão máxima;
- V<sub>mín</sub>: tensão mínima;
- V<sub>méd</sub>: tensão média;
- I<sub>máx</sub>: corrente máxima;
- I<sub>mín</sub>: corrente mínima;
- P<sub>máx</sub>: potência máxima;
- P<sub>mín</sub>: potência mínima;
- F<sub>máx</sub>: frequência máxima;
- F<sub>mín</sub>: frequência mínima;
- C<sub>máx</sub>: consumo máximo;
- C<sub>mín</sub>: consumo mínimo;
- C<sub>méd</sub>: consumo médio.

Os parâmetros mínimos, máximos e médios das grandezas medidas são importantes para a comparação com os limites impostos por normas. A partir do experimento com o protótipo em funcionamento e da extração dos dados, este trabalho mostra a análise dos parâmetros medidos no item 5.6.2 a seguir.

### 5.6.2 Análise das grandezas elétricas

Após a elaboração de planilha de dados, realizou-se a identificação dos parâmetros importantes de cada grandeza medida, como os valores máximos mínimos e valores médios. Partiu-se então, para a análise dos parâmetros medidos com o auxílio de gráficos, conforme segue adiante:

#### a) Análise da Tensão x Tempo

O Gráfico 1 ilustra o comportamento da curva da tensão x tempo, mostrando a tensão média, tensão máxima e tensão mínima. Comparando os resultados com a **Tabela 3** a seguir, conclui-se que a tensão medida no período de avaliação, não passou da faixa de tensão limite (VL- Valor

Limite) para atendimento classificada como tensão adequada ( $0,92VN \leq VL \leq 1,05VN$ ), sendo a tensão nominal (VN) considerada igual a 127 Volts, isto é:

$$\text{Tensão Limite Máxima (VLmáx)} = 1,05 * 127\text{v} = 133,35\text{v} \rightarrow \text{Vmáx} = 128,7\text{v};$$

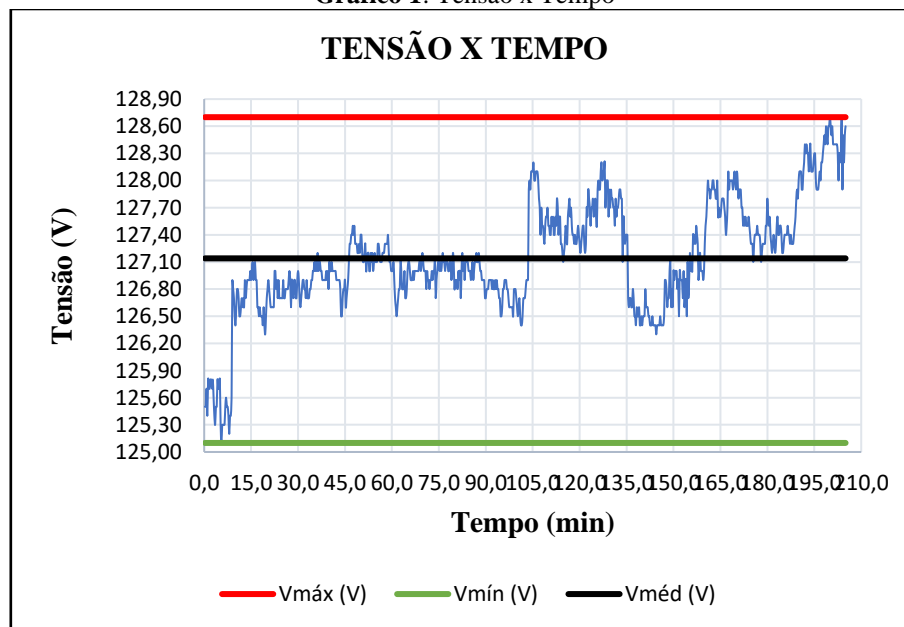
$$\text{Tensão Limite Mínima (VLmín)} = 0,92 * 127\text{v} = 116,84\text{v} \rightarrow \text{Vmín} = 125,1\text{v};$$

**Tabela 5.3 :** Tensões em regime permanente no ponto de entrega para tensões nominais inferiores a 1 kV.

| Tensão Atendimento (TA)  | Faixa de Variação da Tensão de Leitura (VL) em Volts   |  |
|--|--|--|
|  | 220 / 127 V  | 380 / 220 V  |
| Adequada<br>$0,92VN \leq VL \leq 1,05VN$                               | $(202 \leq VL \leq 231) / (117 \leq VL \leq 133)$  | $(350 \leq VL \leq 399) / (202 \leq VL \leq 231)$  |
| Precária<br>$0,87VN \leq VL < 0,92VN$ ou<br>$1,05 VN < VL \leq 1,06VN$ | $(191 \leq VL \leq 202$ ou $231 \leq VL \leq 233)$<br>$(110 \leq VL \leq 117$ ou $133 \leq VL \leq 135)$ | $(331 \leq VL \leq 350$ ou $399 \leq VL \leq 403)$<br>$(191 \leq VL \leq 202$ ou $231 \leq VL \leq 233)$ |
| Crítica<br>$VL < 0,87VN$ ou<br>$VL > 1,06VN$                           | $(VL < 191$ ou $VL > 233)$<br>$(VL < 110$ ou $VL > 135)$   | $(VL < 331$ ou $VL > 403)$<br>$(VL < 191$ ou $VL > 233)$   |

Fonte: Adaptado ANEEL PRODIST Módulo 8.

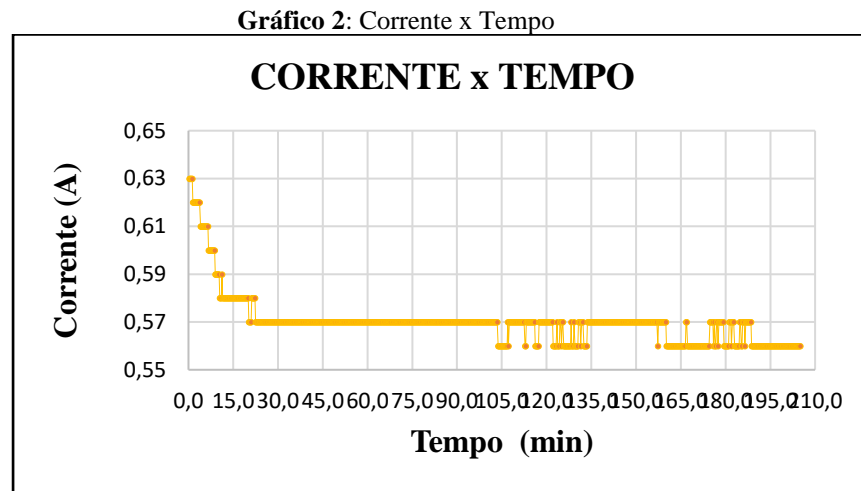
**Gráfico 1:** Tensão x Tempo



Fonte: autores

b) Análise Corrente x Tempo

Observa-se no Gráfico 6.2 a seguir, que nos primeiros vinte minutos a corrente diminui até atingir 0,57 A. Isso se deve ao aumento de temperatura da luminária devido ao efeito Joule. Devido a esse fator, é necessária a especificação de uma luminária de qualidade, observando a perda de potência por efeito Joule. Para dissipar a energia térmica gerada pelo LED, utilizam-se os dissipadores de calor. A referida luminária não contempla tais dissipadores.



Fonte: autores

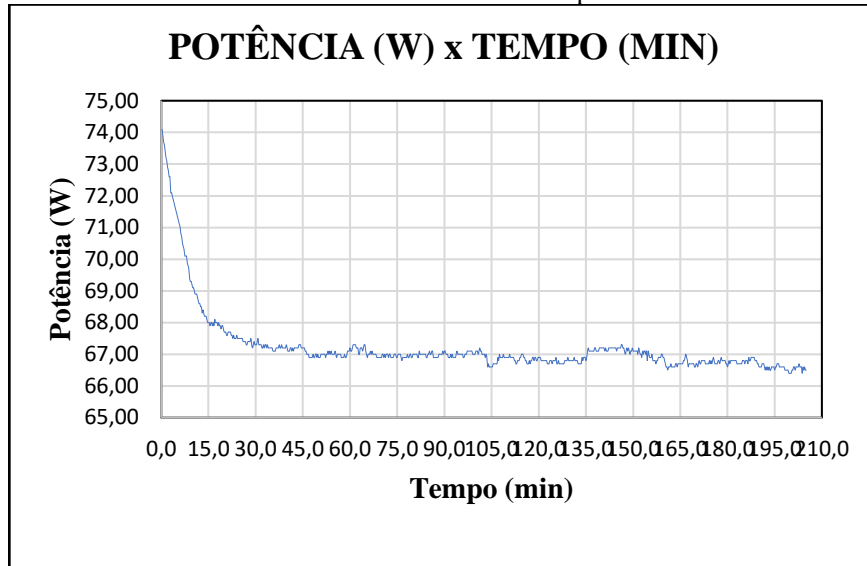
As primeiras medições, logo ao ligar a luminária, registraram correntes que atingiram o valor máximo ( $I_{\text{máx}} = 0,63 \text{ A}$ ). Após vinte minutos a temperatura da luminária não mais alterou e a corrente se manteve em  $I = 0,57 \text{ A}$ , com algumas medições registrando o valor mínimo da corrente ( $I = 0,56 \text{ A}$ ). O aumento da temperatura provocou uma perda de potência, pois a tensão se manteve dentro de patamares aceitáveis e o fator de potência se manteve constante ( $FP = 0,93$ ). É importante frisar que a corrente nominal descrita na especificação da luminária é de  $I_n = 875 \text{ mA}$  em tensão  $127 \text{ V}$ .

### c) Análise Potência x Tempo

Nota-se no Gráfico 6.3 que a potência diminui nos primeiros 20 minutos em função da diminuição da corrente nesse intervalo de tempo. Fica evidente a perda de potência durante o aquecimento da luminária. Após esse período a potência atinge um valor médio de  $67 \text{ W}$  até o final do experimento.



Gráfico 3: Potência x Tempo



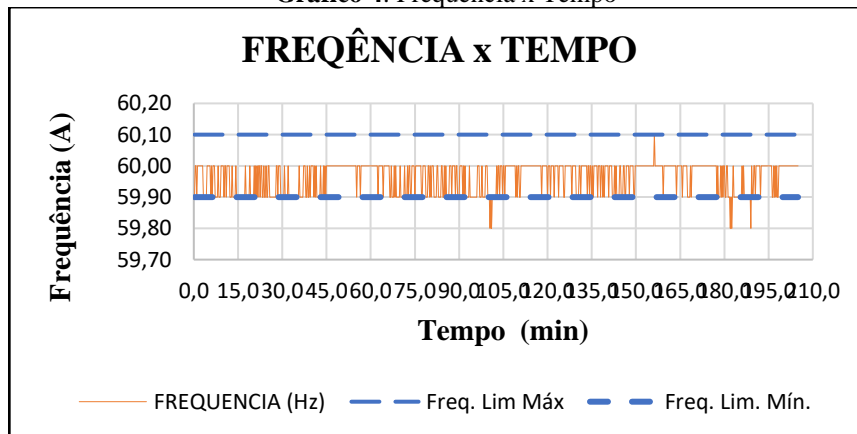
Fonte: autores

## d) Análise Frequência x Tempo

Na análise do Gráfico 6.4, constata-se que a frequência fica distante do limite máximo no período estudado. Verifica-se apenas um evento de extrapolação onde a frequência atingiu o limite máximo normativo e em três ocorrências se verificou uma subfrequência chegando ao limite mínimo.

OBS: faixa ideal de frequência (60,1 Hz a 59,9 Hz).

Gráfico 4: Frequência x Tempo

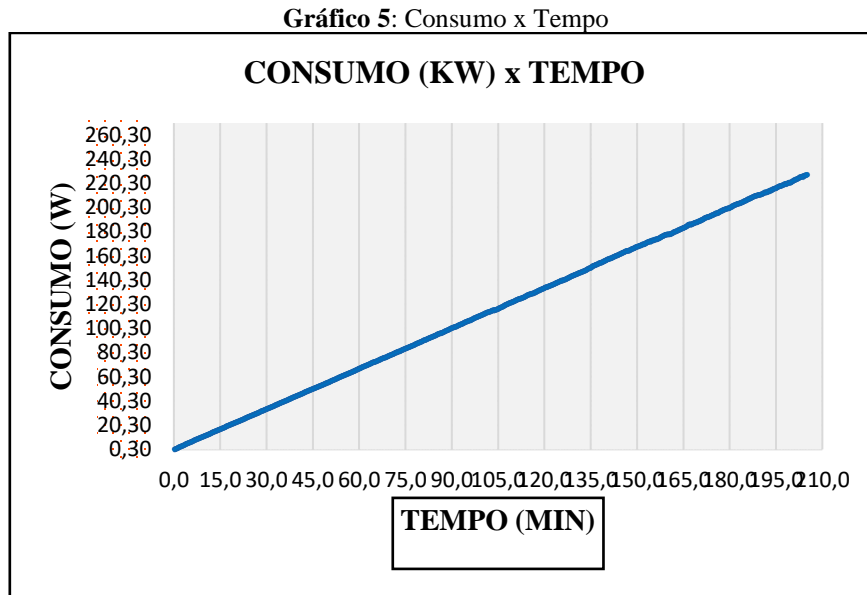


Fonte: autores



e) Análise Consumo x Tempo

O consumo de energia se apresenta crescente desde o momento inicial até o final da experiência, conforme mostrado no Gráfico 6.5 a seguir.

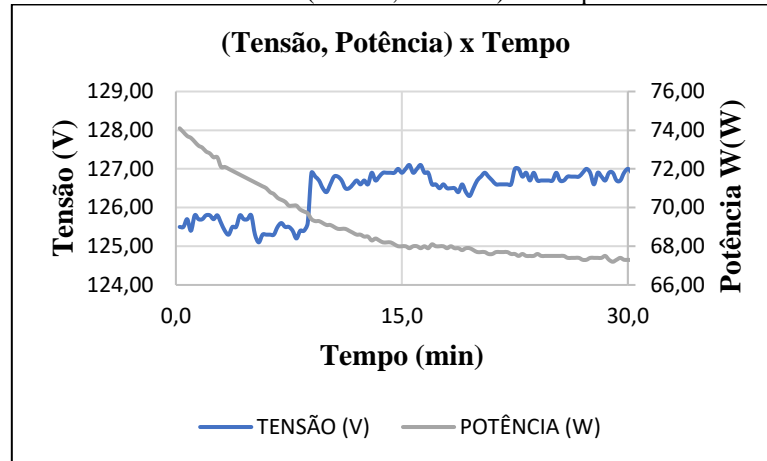


**Fonte:** autores

f) Análise (Tensão, Potência) x Tempo

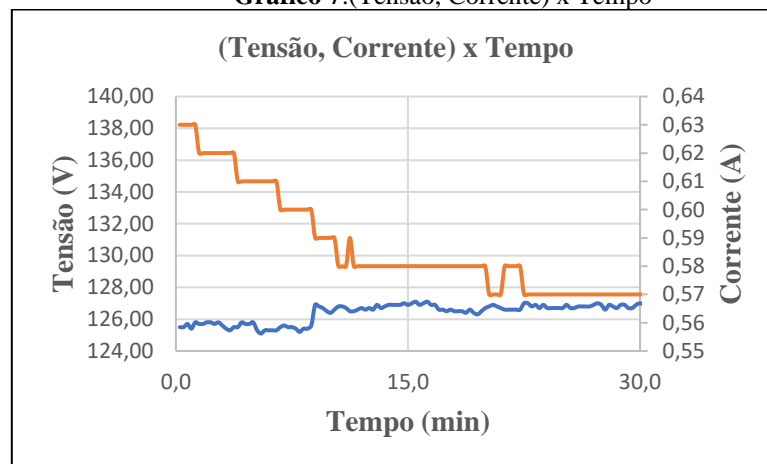
As duas curvas (tensão, potência) x Tempo, são combinadas e mostradas no Gráfico 6.6, onde se verifica que a tensão pouco varia, porém, a perda de potência é visível nos primeiros vinte minutos, provocada pelo aumento de temperatura devido ao efeito Joule, como já foi comentado.

Para melhor entendimento, o Gráfico 6.6, ilustra muito bem o comportamento do perfil da tensão em uma tendência de equilíbrio mesmo com a perda de potência no período de tempo considerado.

**Gráfico 6:** (Tensão, Potência) x Tempo

**Fonte:** autores

Dando sequência à análise de perda de potência no início do processo, pode-se considerar o Gráfico 6.7, o qual mostra a característica da curva de corrente e da tensão em relação ao tempo considerado. Nota-se a diminuição da corrente em função do aquecimento da luminária, influenciando na perda de potência.

**Gráfico 7:**(Tensão, Corrente) x Tempo

**Fonte:** autores

O experimento demonstra a viabilidade da medição ponto a ponto mostrando que é possível obter dados e que, a partir de uma análise do perfil de cada grandeza elétrica, pode-se tomar uma decisão para manutenção do sistema de iluminação, operação, racionalização e garantia de uma eficiência dentro do que se deseja. Destaca-se que a medição do tempo de funcionamento da

luminária, se a lâmpada está ou não em funcionamento, influencia diretamente no cálculo do consumo de energia, portanto no valor da COSIP, beneficiando assim o consumidor final.

### **5.7 – Considerações finais**

O presente capítulo fez uma abordagem sobre o fluxo de informações e o padrão de comunicação adotado. Ilustrou os equipamentos de medição ponto a ponto para uma rede de iluminação pública, constando de transformador de corrente, módulo de comunicação, fonte de energia para o módulo de comunicação e o microcontrolador. Discorreu ainda sobre a plataforma eletrônica Arduino Uno, bem como a segurança digital adotada para o sistema de comunicação.

O Capítulo 5 continuou descrevendo o sistema de telegestão, contemplando a plataforma de comunicação homem-máquina, suas funcionalidades e recursos e passou então a ilustrar a aplicação da metodologia de medição. Relatou a experiência com o protótipo, tendo como princípio a medição de parâmetros elétricos luminária em funcionamento por um período em torno de 3h20m (três horas e vinte minutos), sendo realizada a medição do ponto de luz e a partir de então, a extração dos dados para a análise por meio de gráficos e comparação dos resultados das grandezas medidas com parâmetros normativos. Em seguida o capítulo apresenta a análise com ajuda de gráficos para melhor entendimento dos parâmetros medidos e conclui que os o experimento demonstra a viabilidade da medição ponto a ponto e por fim, no próximo capítulo, seguem as principais conclusões do trabalho.

## 6 – CONCLUSÃO

### 6.1 – Principais conclusões do trabalho

A pesquisa bibliográfica sobre a abordagem do tema, proporciona a visualização do avanço tecnológico do sistema de iluminação pública no Brasil e no mundo, devido à busca da ciência por novos materiais, o que provocou a diminuição de custos com energia e o impacto ao meio ambiente. Ao apresentar o estado da arte, este trabalho mostrou que a tecnologia LED é a última geração de lâmpadas utilizadas em vias públicas e que é inegável que a utilização dessa tecnologia é um notório avanço para o sistema de Iluminação Pública. Dentre outras vantagens, vale ressaltar que, quando desligada, as lâmpadas de LED podem ser religadas no mesmo instante, já as lâmpadas de ionização gasosa precisam resfriar para novo acionamento (BATISTA, 2020).

A forma como é tratado, juridicamente, o rateio para custeio do Serviço de Iluminação Pública, fez com que o pesquisa deste trabalho se aprofundasse em uma cronologia de leis e resoluções a respeito do assunto e, considerando que o rateio é para pagamento de um serviço, nota-se, claramente, a necessidade de se aprimorar o atual modelo de atendimento, manutenção e operação da rede de Iluminação Pública.

O sistema de medição apresentado possibilita um debate mais apurado para se propor um novo modelo para o cálculo da COSIP.

Observa-se que a base de cálculo para a arrecadação para pagamento da COSIP leva em consideração o enquadramento do consumidor por faixa de consumo, ou seja, quanto maior o consumo, maior é a alíquota aplicada, desconsiderando o cálculo para se obter o custo com as Despesas de Consumo de Energia (DCE) e com as Despesas de Prestação de Serviços (DPS), ou seja, a tabela de enquadramento homologada pela câmara do município, não apresenta critérios para o referido enquadramento. Na prática, existe um cálculo para apurar os custos do consumo de energia e uma base de cálculo para a arrecadação cobrada dos consumidores, que ignora o cálculo dos custos. Outro fator que deve ser levado em conta é o tempo estimado de funcionamento da Iluminação Pública que não reflete a realidade, basta observar que o tempo de funcionamento das luminárias, para faturamento, é considerado estando ou não o ponto de luz funcionando.

A tecnologia apresentada neste trabalho pode oportunizar a modificação do cálculo da COSIP, pois se saberia exatamente o tempo real de consumo de cada ponto, a potência da lâmpada e, portanto, o consumo real da rede de iluminação pública, ou seja, o consumo de energia não seria

estimado. O consumo e a gestão por meio de controle remoto, fariam o custo com manutenção e operação diminuir. A simples substituição de lâmpadas de vapor a alta pressão por lâmpadas do tipo LED, traria economia de energia e diminuição do custo com substituição de materiais devido a maior vida útil da lâmpada LED.

Diante dos novos dispositivos de medição, comunicação e sensores, pode-se propor uma melhoria e inovação para a malha (rede de Iluminação Pública) existente, maior qualidade aos serviços disponibilizados à sociedade por meio da conectividade de sistemas e eficiência energética com o suporte da telegestão. A tecnologia proposta, faria com que houvesse mais transparência no cálculo e arrecadação da COSIP, fazendo com que a sociedade tivesse conhecimento do ponto de equilíbrio entre o custo e a receita, de forma que o gestor público, no caso a prefeitura, arrecadasse o equivalente ao custo real, sem fins lucrativos. Essa tecnologia apresentada proporcionaria uma satisfação maior à sociedade que tanto reclama do atendimento desse serviço. O modelo apresentado proporciona maior transparência da cobrança aos contribuintes e traz à tona, o debate sobre o polêmico modelo existente desde a promulgação da Constituição de 1988.

O sistema de medição apresentado nesse trabalho permite uma visualização mais clara da diferença entre o que é arrecadado e o que é medido. Nota-se também a necessidade de revisão da Tabela 3.1. Essa Tabela foi aprovada pela Câmara Municipal de Belém em 2002 e quase não tem alteração em relação a outros municípios gestores de Iluminação Pública no Brasil. Quase 20 anos se passaram e é natural a revisão de critérios adotados por faixa de consumo para constatação se não houve mudança do perfil de cada faixa. A emenda constitucional não delineou as hipóteses de incidência e deixou tal incumbência a critério do legislador municipal, desde que respeitando os parâmetros constitucionais, portanto não se tem uma uniformidade nas considerações de cálculo e alíquotas da COSIP. Em outras palavras, a depender do município, as características inerentes à contribuição podem sofrer mudanças relevantes.

Sobre o faturamento da COSIP, vários outros aspectos devem ser revistos, tais como:

- Somente é cobrada a COSIP de quem tem uma unidade consumidora. Caso, um vizinho de quem paga a COSIP, instale uma geração própria, por exemplo uma geração solar *Off Grid*, o mesmo não terá que contribuir no rateio dos custos da Iluminação Pública, mesmo se beneficiando da mesma.
- Um consumidor que migra do mercado cativo para o mercado livre, deixa de pagar a COSIP ao ser ligado como ACL (Ambiente de Contratação Livre);

- A gestão descentralizada do serviço de Iluminação Pública pode impactar na qualidade do serviço prestado em diversas cidades, resultado das diferenças técnicas e financeiras que existem entre os municípios.

Após a apresentação, neste trabalho, da tecnologia para medição ponto a ponto e gerenciamento remoto, conclui-se que a Iluminação Pública pode tornar-se uma plataforma aberta para conexão com outros sistemas como monitoramento de trânsito, segurança pública, poluição sonora, qualidade do ar, perfil de consumo energia setorizado, entre outros.

A tecnologia 5G, reforça ainda mais essa perspectiva, impondo uma tendência mundial de implantação da tecnologia *SMART CITIES*. As tecnologias 5G estão surgindo e ainda não foram totalmente implementadas, no entanto, alguns paradigmas devem ser potencializados com as tecnologias 5G, que são os conceitos de *IoT*, *Smart Cities*. [35].

Além da eficiência energética provocada pelo telegerenciamento, não menos importante é a possibilidade de se medir, ponto a ponto, o consumo de energia da rede dos componentes da Iluminação Pública, monitorando inclusive o equilíbrio de fases do circuito alimentador, alerta de falhas como queima de lâmpadas, pontos de luz georreferenciados e devidamente cadastrados para controle total do agente gestor do sistema.

Quanto à tendência de inovação tecnológica com aproveitamento da Iluminação Pública, é muito importante seguir os estágios para se obter progresso e fazer com que esse sistema passe a ser dinâmico. Primeiramente a substituição da tecnologia de lâmpadas convencionais por lâmpadas do tipo LED (*retrofit*). Em segundo plano efetivar o controle das lâmpadas por meio da dimerização, por exemplo, promovendo a redução de consumo de energia, não somente com a simples troca de lâmpadas, mas controle efetivo de necessidades e em seguida implantar a plataforma para outros serviços.

A tecnologia apresentada para medição ponto a ponto se torna mais atraente ainda por conta do seu reduzido preço e equipamentos que ocupam pouco espaço e perdas de energia muito baixas, fáceis de instalar e um poder de comunicação alto e segurança de informações garantidos. Mais atraente ainda é o aplicativo de gestão, o qual deve ser extremamente intuitivo e objetivo, com interface homem-máquina de fácil entendimento, flexível e abrangente, com possibilidade de agregar outras ferramentas, tudo isso utilizando um celular que cabe na palma da mão. Com mais de 7,95 bilhões de conexões, as redes móveis se tornaram a principal e mais amplamente usada tecnologia de comunicação (KEMP, 2021).

Por fim, mas não menos importante tem-se os resultados do experimento testado. Por meio dos testes realizados, observa-se o atendimento às exigências de normas da ANEEL, porém os equipamentos apresentados neste trabalho necessitam de homologação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - IMETRO.

A telegestão atualmente pode ser considerada a tecnologia mais avançada e capaz de mudar, inclusive o modelo de tarifação, manutenção, pois proporciona eficiência energética e a implantação da Internet das Coisas, ou melhor, passa a formatar o conceito de Internet das Cidades ou *IoCities*. A legislação já está contemplando as possíveis mudanças de padrões, como:

- O Art. 21-E da REN 888/2020 traz o sistema de Iluminação Pública para o presente quando exige um cadastro de pontos devidamente georreferenciado, portanto as prefeituras tem de adotar um banco de dados com base em levantamento de dados em campo utilizando tecnologia antes nunca utilizado e passa assim a ter controle do acervo de Iluminação Pública.
- O item III do Art. 24 da REN 888/2020 admite que o sistema de medição de Iluminação Pública pode ser apurado conforme o sistema de gestão do poder público municipal, respeitando as diretrizes e instruções da ANEEL. Isso demonstra que a prefeitura pode, a seu critério, buscar meios tecnológicos para efeito de registro de consumo de energia dos pontos de iluminação pública, o que abre uma imensa quantidade de oportunidades para uma cobrança justa perante o consumidor final. Fecha uma lacuna que há anos encontrava-se aberta devido à cobrança de um consumo estimado sem considerar os pontos com avarias ou mesmo sem consumo devido às falhas de equipamentos como lâmpadas, reatores e relé fotoelétrico.
- A medição ponto a ponto faz o sistema ficar mais justo ainda, pois vai medir efetivamente o consumo de cada luminária e caso a luminária não esteja funcionando, o sistema de telegestão fará a identificação e enviará mensagem para que providências sejam tomadas, sem a necessidade de comunicação entre o consumidor e o ente público responsável pela manutenção do sistema.
- De acordo com a revisão da Normativa ANEEL n° 414/2010, a prefeitura ou concessionárias de iluminação pública podem requerer a homologação pela distribuidora de energia do sistema de telegestão para cálculo e faturamento do consumo de energia dos pontos de iluminação pública.

Outra aplicabilidade da tecnologia apresentada neste trabalho é proporcionada pela RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021, por meio do artigo 189, parágrafo 1º, o qual preconiza: “Não se inclui na classe iluminação pública o fornecimento de energia elétrica que tenha por objetivo a iluminação de vias internas de condomínios”. Isso abre um leque de demanda extraordinário, pois a responsabilidade, sai do poder público e passa para o interesse particular, que jamais quer pagar por um consumo estimado.

A aplicação no Campus da UFPA, também seria interessante, pois o sistema proposto pode ser conectado ao Sistema de Gestão de Unidades Consumidoras de Energia Elétrica da Cidade Universitária (SISGEE).

Após a exposição dos pontos considerados relevantes para a conclusão do trabalho, passa-se às recomendações para futuros trabalhos.

## **6.2 – Recomendações para trabalhos futuros**

O avanço tecnológico, principalmente da rede móvel com “saltos” qualitativos imensos, faz com que a humanidade passe a olhar para o futuro com lupa para a tecnologia 6G a qual deve ser padronizada e implantada em 2030. Qual o impacto isso trará para os municípios que até lá não tiverem implantado um sistema conectado a tudo? Os desafios para se manter um baixo consumo de energia dos equipamentos necessários para essa conexão é outro ponto a ser pesquisado. Oportunidades na área de segurança de informações também é um assunto a ser debatido e aprimorado. Abre-se então um vasto caminho a ser explorado com a utilização da rede de Iluminação Pública, sendo a plataforma de conexões para a Internet das Coisas.

Ressalta-se também os estudos sobre inovação na área de medição remota de energia elétrica, a qual consiste no controle e na aferição do consumo por meio de sistemas *online*, dispensando a leitura manual. Essa, porém, é apenas uma entre as várias funcionalidades que estarão amplamente disponíveis nas redes elétricas nos próximos anos (LUTERLED, 2021).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALESP. A iluminação pública em São Paulo no século XIX e o legislativo paulista. Governo do Estado de São Paulo. Brasília. 2004.

ARAÚJO, Júlia. **Avaliação da Influência das Interferências Eletromagnéticas (EMI) produzidas por lâmpadas LED: Uma Análise Multicritério.** XIV CBQEE Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica. Foz do Iguaçu-PR: CBQEE. 2021. p. 7.

BATISTA, Ana L. D. A. **Efeitos da Disseminação de Lâmpadas LED - Dissertação de mestrado.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI. ITAJUBÁ-MG, p. 182. 2020.

BAPTISTA, Dante. <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/5g-no-brasil-saiba-o-que-esperar-da-tecnologia-apos-o-leilao-de-frequencias/tecnologia/5g-no-brasil-saiba-o-que-esperar-da-tecnologia-apos-o-leilao-de-frequencias>. **cnnbrasil.com.br**, 2021. Acesso em: 07 janeiro 2022.

BERST, Jesse. **How advanced street lighting systems can transform cities in remarkable ways.** smartcitiescouncil. [S.l.], p. 18.

BOYLESTAD, 16. R. L. **Electronic devices and circuit theory.** 11ª Edição. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia - ANEEL. **resolucao que diminui custo com iluminação pública.** ANATEL. [S.l.]. 2019.

BRASIL, Governo Federal. **Governo Federal realiza leilão do 1º 5G da América Latina.** Governo Federal. Brasília. 2021.

BRIGHT, Arthur. **The Electric Lamp Industry.** [S.l.]: [S.n.], 1949. 183 p.

CARVALHO, CARMINDA C. M.D.M **ILUMINAÇÃO EFICIENTE.** UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. Belém, p. 69.2021.

COSTA, Matheus. **O que é DoS e DDoS?** Canaltech. São Paulo-SP. 2014.

COPEL, SEDU. **Manual de Iluminação Pública.** SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO. Florianópolis-SC, p. 52. 2012.

CROWTHER, James. **The Time Is Right for Connected Public Lighting.** Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). Amsterdam, p. 8. 2012.

CUNHA, Lucas D. O. **Estudo de caso da implementação de filtro EMI em um conversor (Monografia).** João Monvelade: Universidade Federal de Ouro Preto., 2020. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2688/6/MONOGRRAFIA\\_EstudoCasoImplemeta%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2688/6/MONOGRRAFIA_EstudoCasoImplemeta%C3%A7%C3%A3o.pdf). Acesso em: 28 out. 2021.

CURVELLO, André. **Apresentando o módulo ESP8266.** [S.l.]. 2015.

DAMBISKI, Leandro P. **APLICAÇÃO DOPROGRAMA NACIONAL DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE (PROCEL-RELUZ).** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 87. 2007.

GANDRA, Alana. Eletrobrás vai investir 30 milhões em iluminação pública. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, 11 junho 2019. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-06/eletrobras-vai-investir-r-30-milhoes-em-iluminacao-publica-eficiente>. Acesso em: 25 outubro 2021.

G, Ariane. **O Que é Latência?** Hostinger. [S.l.]. 2019.

- GRIFFITHS, Hannah. **FUTURE CITIES CATAPULT**. [S.l.], p. 48. 2017.
- GOHAR, Ali. **Sustentabilidade**. Universidade de Stavanger-Noruega. Stavanger-Noruega, p. 24. 2021.
- HART, Daniel W. **Eletrônica de Potência – Análise e Projetos de Circuitos**. 1ª Edição. ed. Porto Alegre: McGraw Hill, 2012.
- INTELILIGHT. InteliLIGHT. **InteliLIGHT**, 2021. Disponível em: <https://intelilight.eu/company/>. Acesso em: 25 outubro 2021.
- IP MINAS. **Entenda a história da iluminação pública no Brasil**. Ribeirão das Neves-MG: [S.n.], 2021. Disponível em: <https://www.ipminas.com.br/entenda-a-historia-da-iluminacao-publica-nas-cidades-do-brasil/>. Acesso em: 25 outubro 2021.
- JONES, Jonathan S. **5G 90% mais eficiente em termos de energia do que 4G, conclui estudo da Nokia**. Smart Energy International. [S.l.]. 2020.
- 42 JONES, Jonathan S. **MATILDA demonstra sistema de iluminação inteligente 5G**. Smart Energy Internatinal. [S.l.], p. 1. 2021.k
- KARLICEK, Robert. **Handbook of Advanced Lighting Tecnology**. [S.l.]: Springer, 2017.
- KEMP, Simon. **Relatório Digital 2021 de outubro Global Statshot**. GlobalWebIndex. [S.l.]. 2019.
- KELVIN, Lord S. D. **GIB lança novo produto de empréstimo para financiar a mudança do Reino Unido para iluminação pública de baixa energia**. Bank Investment Green. [S.l.]. 2014.
- LEPTICH, Ronald. A iluminação pública e seus avanços tecnológicos. **Brasilengenharia**, São Paulo-SP. Disponível em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/noticias/destaque/733-a-iluminacao-publica-e-seus-avancos-tecnologicos>. Acesso em: 25 outubro 2021.
- LUCKY, Robert W. **RENEWING U.S. TELECOMMUNICATIONS RESEARCH**. Washington: THE NATIONAL ACADEMIES PRESS, 2006. 82 p. Disponível em: <https://www.nap.edu/read/11711/chapter/1#ii>. Acesso em: 30 outubro 2021.
- LUTERLED. **blog-medição-remota-de-energia-elétrica**. [www.luterled.com.br](http://www.luterled.com.br), 2020. Acesso em: dezembro de 2021.
- MARTINS, André. **Análise qualitativa de lâmpadas LED para aplicação em retrofit de iluminação**. XIV CBQEE Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica. Foz do Iguaçu-PR: CBQEE. 2021. p. 6.
- MIRAZ, Mahdi H. **A review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT)**. Tecnologias e aplicativos da Internet (ITA). [S.l.]. 2015.
- MME, ANEEL. **resolucao que diminui custo com iluminação pública**. ANATEL. [S.l.]. 2019.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **ILUMINAÇÃO PÚBLICA MUNICIPAL - PROGRAMAS E POLÍTICAS PÚBLICAS - ORIENTAÇÕES PARA GESTORES MUNICIPAIS**. Brasília-DF: COORDENAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2018. 24 p. Disponível em: [https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/sef/livreto-iluminacao-publica\\_2018\\_02\\_19.pdf](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/sef/livreto-iluminacao-publica_2018_02_19.pdf). Acesso em: 25 Outubro 2021.
- MONTEIRO, Cláudio. Telegestão de iluminação pública e IoT nas cidades inteligentes. **O Setor Elétrico**, São Paulo-SP, n. 178, maio 2021.
- NASCIMENTO, Bruno D. Medidor de grandezas elétricas com acesso remoto. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, Mossoró-RN, 11 Setembro 2020. 12.
- NEGER, Eduardo. **Entenda o que é o 5G e como está sua implementação no Brasil**. CNN BRASIL. [S.l.]. 2021.
- NOGUEIRA, F. J. **Avaliação Experimental de Luminárias empregando LEDs orientadas à Iluminação (dissertação de mestrado)**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) - MG, 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/25716115-Avaliacao-experimental-de-luminarias-empregando-leds-orientadas-a-iluminacao-publica.html>.

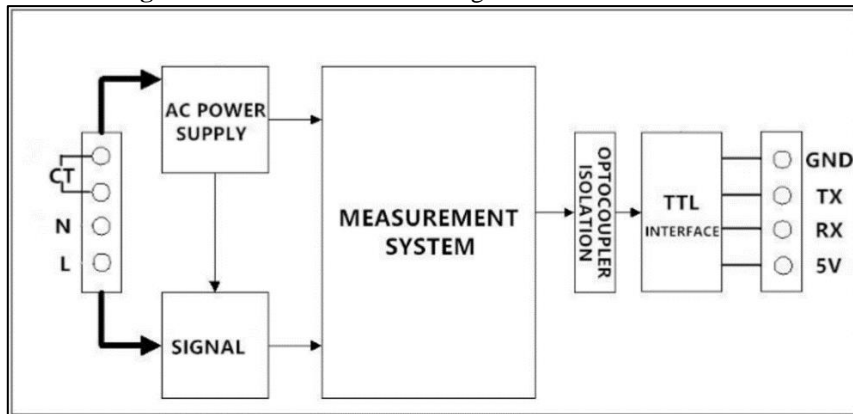
- PINTO, Lia F. **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA TECNOLOGIA LED E TÉCNICAS DE GESTÃO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA (Dissertação de Mestrado)**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2018. 154 p.
- PENTTINEN, Jyrki T. J. **5G Explained: Security and Deployment of Advanced Mobile Communications**. John Wiley & Sons, Inc. Nova Jersey -EUA, p. 328. 2019.
- PLATFORM, Insights. **What Is 5G?** CB Insights. New York-NY, p. 38. 2021.
- PODVIN, Jean-Louis. Les préposés au luminaire dans les cultes isiaques. In: **Indivíduos e Materiais nos Cultos Greco-Romanos de Ísis (SET)** . Brill, 2018. p. 609-627.
- RANGEL, Marcelle Gusmão; SILVA, Paula Barsaglini; GUEDE, José Ricardo Abalde. Led–Iluminação de Estado Sólido. **São José do Campos**, 2009.
- RASHID, Muhammad H. **Power electronics, circuits, devices, and applications**. 4ª Edição. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014. 882 p.
- ROIZENBLATT, Isac. ABILUX. **ABILUX**, 13 fevereiro 2015. Disponível em: [https://www.abilux.com.br/noticia/uso\\_de\\_led\\_pode\\_reduzir\\_em\\_50\\_o\\_consumo\\_de\\_energia/](https://www.abilux.com.br/noticia/uso_de_led_pode_reduzir_em_50_o_consumo_de_energia/). Acesso em: 26 outubro 2021.
- ROZITO, Luciano. Iluminação Pública: o LED e os desafios do mercado. **O Setor Elétrico**, São Paulo-SP, p. 28, julho 2021.
- SILVA, Arthur M. D. **SISTEMA INTELIGENTE DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI. São Bernardo do Campo - SP, p. 119. 2019.
- SILVA, Lucas G. F. **Impacto no fator de potência de dispositivos de iluminação sujeitos a distorções na tensão de alimentação**. XIV CBQEE Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica. Foz do Iguaçu-PR: CBQEE. 2021. p. 6.
- SOUZA, Igor. **Cosip: um degrau a mais em direção à segurança jurídica**. Consultor jurídico. São Paulo-SP. 2021.
- WALKER, Gary. **Um programa ambicioso para Glasgow como nunca antes**. Câmara Municipal de Glasgow. Glasgow. 2017.
- YATES, Nicola. **SMART CITY DEMONSTRATORS - A global review of challenges and lessons learned**. Innovate UK. [S.l.], p. 110.

## ANEXO A – MÓDULO PZEM-004-100A

- **Diagrama de blocos funcional PZEM-004T-100A**

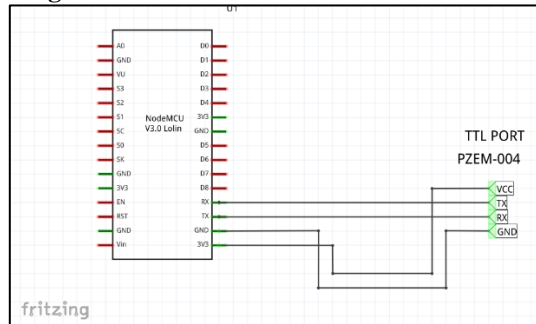
A seguir, pode-se visualizar, por meio da Figura 1, o diagrama de blocos do sistema funcional onde observa-se a entrada de energia da rede (AC) com uma fonte AC/DC 5 Volts - 1 A, alimentando o medidor, o qual está acoplado a um isolador óptico, fazendo a interface com a TTL serial.

**Figura 1:** PZEM-004T-100A diagrama de blocos funcional



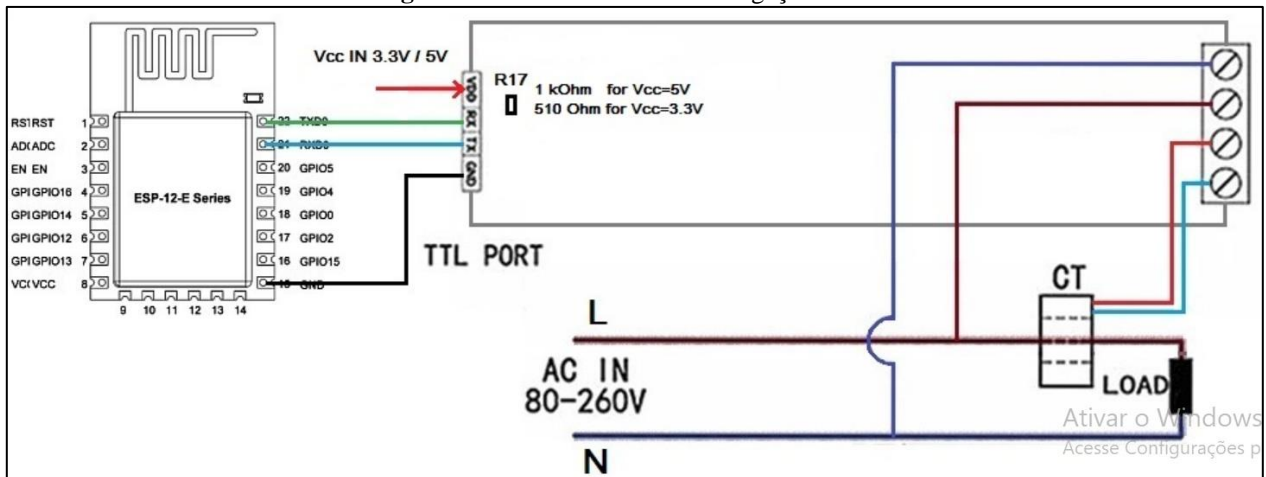
Fonte: manual do equipamento

A interface TTL deste módulo é passiva, isto requer fonte de energia externa 5V. É importante que fique claro que o Voltímetro AC (Corrente Alternada), Wattímetro, Amperímetro PZEM-004T-100A é um módulo eletrônico altamente tecnológico e eficiente desenvolvido para fazer a medição da tensão AC, corrente alternada e consumo de equipamentos elétricos ou da rede de energia. O principal diferencial é a sua capacidade de fazer as medições sem contato, já que conta com um transformador TC com capacidade para medição de corrente alternada de até 100A. As ligações de entrada e saída não são complexas como mostra a Figura 2 e a Figura 3 a seguir.

**Figura 2** - PZEM-004T-100A - Porta de saída.

Fonte: <https://fritzing.org/projects/>

Para a leitura de dados do monitor de energia PZEM-004t-100 A. É necessário conectar RX e TX a TX e RX do módulo esp8266. Para a fonte de alimentação de 3,3 V, o monitor de energia precisa de modificação (R17 deve ser alterado com resistor de 510 Ohm) (Ver Figura 3).

**Figura 3** - PZEM-004T-100A – Ligação física.

Fonte: manual do fabricante

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

PZEM-004T-100A: Faixa de medição 100A (transformador externo)

- **Tensão**

Faixa de medição: 80 ~ 260V

Resolução: 0,1V

A precisão: 0,5%

- **Corrente**

Faixa de medição:

0 ~ 10A (PZEM-004T-10A);

0 ~ 100A (PZEM-004T-100A)

Corrente de partida:

0.01A (PZEM-004T-10A);

0.02A (PZEM-004T-100A)

Resolução: 0.001 A

Precisão: 0,5%

- **Potência ativa**

Faixa de medição:

0 ~ 2.3kW (PZEM-004T-10A);

0 ~ 23KW (PZEM-004T-100A)

*Starting measure power: 0.4W*

Resolução: 0.1W

Precisão: 0,5%

Formato de apresentação:  $< 1000W$ , que exibem uma casa decimal, tais como:  $999.9W \geq 1000W$ , que exibem apenas inteiro, tais como:  $1000W$

- **Fator de potência**

Faixa de medição: 0.00 ~ 1,00

Resolução: 0,01

Precisão: 1%

- **Frequência**

Faixa de medição: 45Hz ~ 65Hz

Resolução: 0.1Hz

Precisão: 0,5%

- **Energia Ativa**

Faixa de medição: 0 ~ 9999.99kWh

Resolução: 1Wh

Precisão: 0,5%

Formato de apresentação:

< 10 kWh, a unidade de exibição é Wh (1 kWh = 1000Wh), tais como: 9999Wh

≥ 10 kWh, a unidade de exibição é de kWh, tais como: 9999.99kWh

*Reset energy: use software to reset.*

- **Alarme de sobrecarga**

O limiar de potência ativa pode ser definido, quando a potência ativa medida excede o limite, o alarme pode ser acionado

- **Interface de comunicação**

A norma RS485 define esquemas de transmissão de dados balanceados que oferecem soluções robustas para transmitir dados em longas distâncias em ambientes ruidosos. Estas normas não definem qual o protocolo a ser utilizado para a comunicação dos dados, e são adotadas como especificação da camada física de diversos protocolos.

- **Protocolo de comunicação**

**Protocolo de camada física:** utilização de camada física UART. A interface de comunicação é RS485 (norma TIA/EIA-485) com taxa de transmissão de 9600,8 bits de dados, um bit de paragem, nenhuma paridade.

Segundo o tutorial da Sparkfun, publicado em 23 de novembro de 2010:

“A maioria dos microcontroladores hoje em dia tem UARTs (receptor / transmissor universalmente assíncrono) embutidos que podem ser usados para receber e transmitir dados em série. Os UARTs transmitem um bit por vez em uma taxa de dados especificada (ou seja, 9600bps, 115200bps, etc.). Este método de comunicação serial às vezes é chamado de **serial TTL** (lógica transistor-transistor). A comunicação serial em um nível TTL sempre permanecerá entre os limites de **0 V e Vcc**, que geralmente é 5 V ou 3,3 V. Uma lógica alta ('1') é representada por Vcc, enquanto uma lógica baixa ('0') é 0V”. Disponível em <<https://www.sparkfun.com/tutorials/215>>, acesso em 30/09/2021 às 11:07 horas).

- **Protocolo da camada de aplicação**

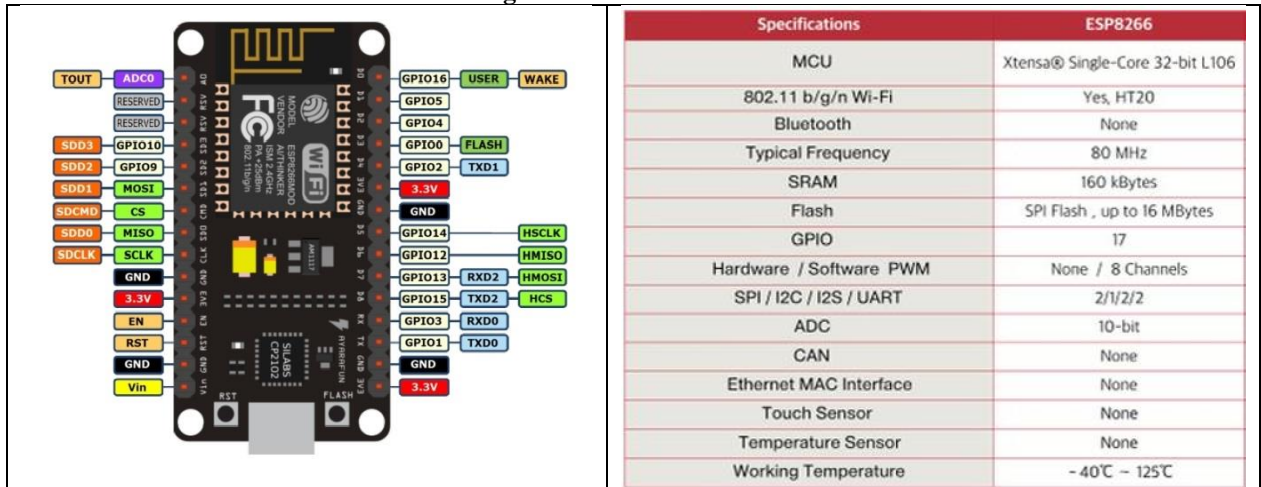
A camada de aplicações usa o protocolo *Modbus- UTR* para comunicar. No momento, ele somente suporta a função de códigos, tais como 0x03 (*Read Holding Register*), 0x04 (*Read Input Register*), 0x06 (*Write Single Register*), 0x41 (Calibração), 0x42 (energia *Reset*). etc. O código de função 0x41 é apenas para uso interno (endereço pode ser apenas 0xF8), usados para calibração de fábrica e regresso a ocasiões de manutenção da fábrica, após o código de função de aumentar a senha de 16-bit, a senha padrão é 0x3721.



## ANEXO B – MÓDULO ESP 8266carmina

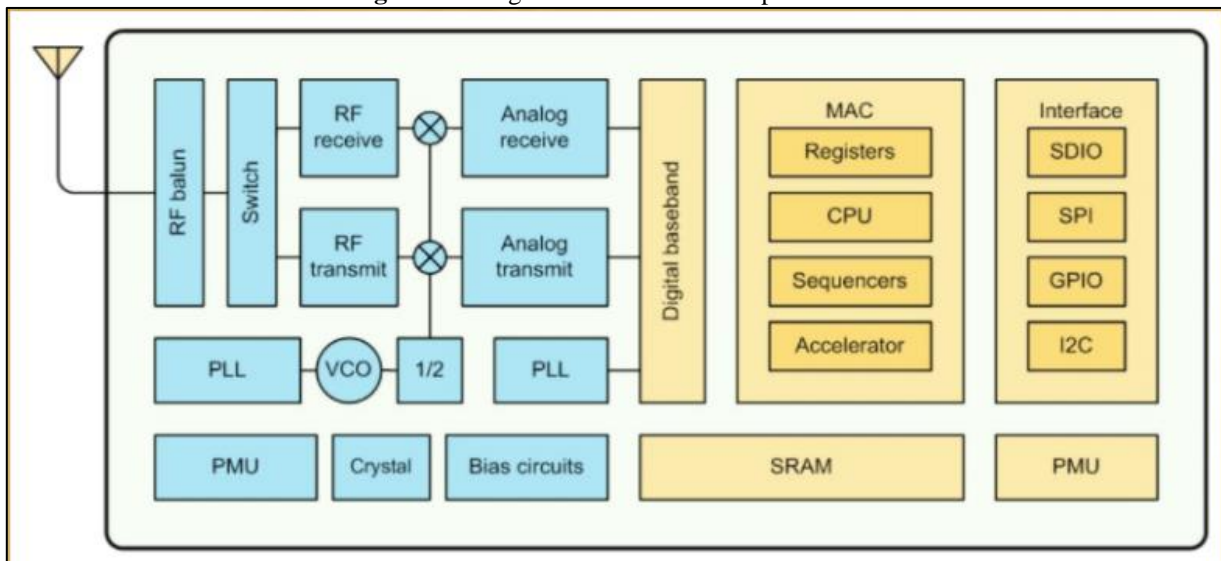
- Características do CHIP: ESP 8266

Figura 1 - CHIP: ESP 8266



Fonte: <https://deinfo.uepg.br/~alunoso/2019/SO/ESP8266/ARQUITETURA/index.html>. Acesso em 11/10/2021 às 11h10.

Figura 2 - Diagrama de blocos do Chip ESP8266

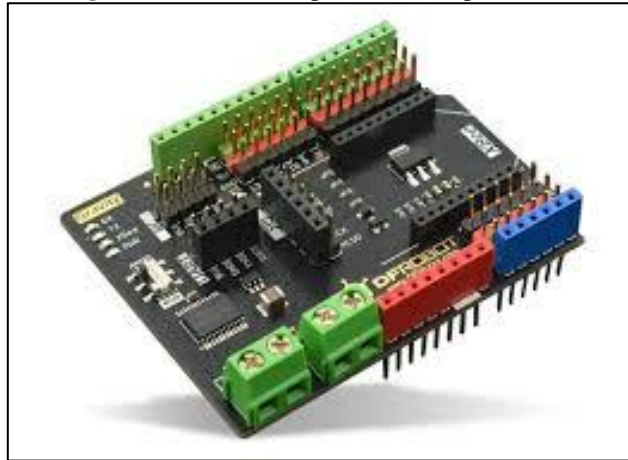


Fonte: <https://deinfo.uepg.br/~alunoso/2019/SO/ESP8266/ARQUITETURA/index>. Acesso em 30/09/2021 às 12h23.

- Outras características do **Módulo Wireless ESP8266**:
- Conexão às redes padrão 802.11 B/G/N
- Alcance aproximado: 91 metros
- Tensão de operação: 3.3 VDC

- Comunicação serial: pinos TX e RX
- Modos de operação: Cliente, Access Point, Cliente+Access Point
- Modos de segurança wireless: OPEN/WEP/WPA\_PSK/WPA2\_PSK/WPA\_WPA2\_PSK.
- Suporta comunicação TCP e UDP, com até 5 conexões simultâneas

**Figura 3:** shields de expansão do Chip ESP8266



**Fonte:** manual do fabricante

## **ANEXO C – CUSTOS DIRETOS E INDIERETOS DA COSIP**

### **CUSTOS DIRETOS**

- Almojarifado (armazenamentos dos componentes de IP);
- Transporte e distribuição dos componentes de IP;
- Instalação dos componentes de IP;
- Substituição dos componentes de IP (manutenção);
- Retirada dos componentes de IP (final da vida útil);
- Mão de obra (eletricista, motorista, auxiliares técnicos, fiscais);
- Equipamentos e ferramentas utilizados na operação e manutenção da rede;
- Equipamentos e acessórios de proteção e segurança (eletricista e auxiliares);
- Veículo porte médio para manutenção (corretiva e preventiva);
- Veículo porte leve para fiscalização (diurna e noturna);
- Infraestrutura para o pessoal de operação, administração e manutenção da rede de IP (imobiliária, mobiliária, informática e comunicação);
- Descarte de Lâmpadas de IP: Retirada: Armazenagem;
- Acondicionamento; Transporte (destinação final);
- Seguro (Contra Riscos);
- Infraestrutura para abrigo dos veículos destinados a IP (garagem);
- Tributos (PIS; COFINS; ISS; ICMS);
- Encargos sociais e trabalhistas (INSS; SESI; SENAI; INCRA; SEBRAE; FGTS);
- Depreciação de móveis; equipamentos e reposição da planta, ao final da vida útil.

### **CUSTOS INDIRETOS**

- Elaboração e implantação de projetos da rede de IP (expansão, modernização, efficientização);
- Serviços administrativos como licitação e contrato para aquisição dos componentes de IP;
- Mão de obra (tesouraria, contabilidade, jurídico);
- Infraestrutura para armazenamento manuseio e descarte de lâmpadas de IP;

- Cadastro da rede de IP georreferenciamento, especificação dos componentes e quantitativo, inventário da arborização urbana);
- Provisão para devedores duvidosos (inadimplência);
- Administração de contratos (Fornecimento de energia elétrica para IP; Prestação de recebimento e repasse da COSIP; Contas de energia);
- Custos com faturamento, arrecadação e cobrança (Bancos, Correios);
- Treinamento e capacitação das equipes técnicas e administrativas;
- Comunicação e educação (campanhas educativas pela preservação do patrimônio);
- Distribuição da Fatura aos Consumidores;
- Custos com judicialização.