



Projeto Piloto de IoT para Cidades Inteligentes - Implantação da Rede de Iluminação Inteligente

INATEL - INSTITUTO NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES
ICC - INATEL COMPETENCE CENTER

Santa Rita do Sapucaí
Junho de 2023

Sumário

Lista de Figuras	ii
Lista de Tabelas	iii
Acrônimos	iv
1 Introdução	1
2 Contexto do Projeto	3
2.1 Informações sobre os municípios do projeto	5
2.2 Parceiros Envolvidos no Sistema de Iluminação Pública Inteligente . . .	7
3 Contexto da Iluminação Pública	8
3.1 Regulamentos para a Iluminação Pública	8
3.2 Sistema de Iluminação Pública atual	9
3.3 Sistema de Iluminação Pública Inteligente	10
3.4 Comparação do consumo de energia elétrica entre sistemas de Iluminação Pública	12
3.5 Tecnologias	14
4 Descrição da Solução de IoT testada	18
5 Desafios de implementação	23

Lista de Figuras

2.1	Santa Rita do Sapucaí/MG. Fonte: [19]	5
2.2	Caxambu/MG. Fonte: [21]	6
2.3	Piraí/RJ. Fonte: [23]	6
3.1	Sistema de Iluminação Pública Inteligente.	11
3.2	Topologia de rede de estrela com rede LTE.	15
3.3	Topologia de rede estrela estendida.	15
3.4	Topologia de rede estrela.	16
3.5	Topologia de rede de malha.	16
4.1	Rede de IoT de Santa Rita do Sapucaí/MG.	19
4.2	Informações Gerais do Sistema de Iluminação Pública.	20
4.3	Pontos de luz de Santa Rita do Sapucaí/MG.	20
4.4	Informações de controle sobre um ponto de luz inteligente.	20
4.5	Informações sobre um ponto de luz inteligente.	22

Lista de Tabelas

2.1	Setores e Aplicações	4
3.1	Parâmetros das lâmpadas.	13
3.2	Resultados dos consumos de energia elétrica.	13
3.3	Custos do consumo anual de energia elétrica.	13
3.4	Custos do consumo diário de energia elétrica.	14
3.5	Características dos protocolos de comunicação.	17
4.1	Parâmetros do sistema de Iluminação Pública inteligente.	21

Acrônimos

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

BNDES Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CIP Contribuição de Iluminação Pública

Cosip Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública

FINATEL Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações

GEE Gases de Efeito Estufa

GSM *Global System for Mobile Communications*

IP Iluminação Pública

ISM *Industrial, Scientific, and Medical*

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

Inatel Instituto Nacional de Telecomunicações

IoT *Internet of Things*

LED *Light Emitting Diode*

LTE *Long Term Evolution*

MCTIC Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

ME Ministério da Economia

PPP Parceria Público-Privada

Capítulo 1

Introdução

Segundo a Constituição Federal do Brasil, os municípios são os responsáveis pela prestação de serviço de Iluminação Pública (IP), que é um recurso público importante para os cidadãos, porque auxilia na visibilidade das vias e dos pedestres, proporcionando segurança e conforto, além da valorização dos espaços públicos [1, 2]. Estima-se que o Brasil possui mais de 18 milhões de pontos de luz e que a parcela do orçamento municipal referente ao custo do consumo total de energia elétrica da IP varia entre 3% e 5%. Além disso, a maioria das lâmpadas utilizadas atualmente na IP são de descarga, as quais possuem baixa eficiência luminosa, baixa vida útil e baixa eficiência energética, precisando também de um descarte correto para evitar a contaminação do meio ambiente [2].

Baseado nessas informações, a implementação de um sistema de gestão inteligente na Iluminação Pública se torna uma alternativa ao sistema atual para auxiliar o desenvolvimento sustentável das cidades, assim como, aumentar a eficiência energética, reduzir os custos com energia elétrica e melhorar os serviços públicos prestados à população e a segurança dos cidadãos [2, 3, 4]. Ressalta-se também que, com esse sistema, é possível diminuir a emissão de gases de efeito estufa (GEE), “contribuindo para a redução dos efeitos climáticos” [5], além de gerar créditos de carbono. A modernização da Iluminação Pública é considerada uma das primeiras aplicações de Internet das Coisas (em inglês, *Internet of Things* (IoT)) no sistema urbano, rumo à Cidade Inteligente.

Sobre as atividades do planejamento, operação, gestão e manutenção do sistema de IP inteligente, o poder público municipal pode realizá-los diretamente, contratar prestadores de serviços e manutenção, mediante contratação regulada pela Lei 8.666/1993, ou delegar as tarefas ao setor privado, por meio de uma Parceria Público-Privada (PPP) [2]. Essa última opção está crescendo no Brasil, contudo, os municípios de pequeno e médio porte enfrentam um desafio perante suas limitações orçamentárias e as normas para contratação da PPP. De acordo com a Lei Nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004, para contratar uma PPP o prazo de vigência do contrato é de no mínimo 5 anos e o valor de no mínimo dez milhões de reais [6].

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e com referência à Estimativa de População de 2021, o Brasil possui 5570 municípios, dentre os

quais, apenas 326 com mais de 100 mil habitantes [7, 8]. Portanto, é preciso desenvolver soluções tecnológicas alternativas de IoT para esse grande nicho de usuários e ampliar o desenvolvimento sustentável das cidades.

Capítulo 2

Contexto do Projeto

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), liderou um estudo, denominado “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil” e propôs um plano de ação para o desenvolvimento da Internet das Coisas no Brasil [4, 9]. Esse estudo foi dividido em 4 fases e cada uma dessas em objetivo e principais produtos. O produto 8A da terceira fase, nomeado “Relatório do plano de ação – Iniciativas e Projetos Mobilizadores”, cita que a adoção de IoT traz benefícios socioeconômicos para a sociedade, assim como, auxilia no cumprimento das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), abrangendo 43% desses objetivos [9].

Uma das verticais priorizadas no estudo é o ambiente de Cidades, o qual possui 4 objetivos estratégicos: mobilidade, segurança pública, eficiência energética e saneamento e inovação [9]. Dentre as ações para o cumprimento dessas metas está a criação de uma rede de Iluminação Pública inteligente, com a implantação da telegestão no sistema. Além dos benefícios para a iluminação, o aproveitamento dessa infraestrutura permite a integração e interconexão com o videomonitoramento, assim como, o rastreamento de frotas [10]. Dessa maneira, é criado um sistema integrado entre diferentes áreas, com gestão integrada e aplicações que auxiliam os setores social, econômico e ambiental, como apresentado na Tabela 2.1.

Aplicações reais da telegestão no sistema de Iluminação Pública já podem ser observadas em grandes cidades de dentro e fora do Brasil. A cidade de Los Angeles, nos Estados Unidos, instalou um sistema de telegestão em sua rede de iluminação pública, permitindo o controle remoto de todas as luminárias e o monitoramento em tempo real do consumo de energia elétrica. Com a implementação desse sistema, a cidade conseguiu reduzir seus custos de energia elétrica em cerca de US\$ 8 milhões por ano, além de reduzir em 63% o tempo médio de resposta às falhas nas luminárias, graças ao diagnóstico remoto das falhas. Além disso, o sistema permitiu que a cidade ajustasse automaticamente a iluminação de acordo com o nível de tráfego, reduzindo o consumo de energia em cerca de 40% em algumas áreas da cidade [11, 12, 13].

A cidade de Osasco, em São Paulo, implantou um sistema de telegestão em sua rede de iluminação pública, em 2018, e conseguiu reduzir em 57% o consumo de energia

Tabela 2.1: Setores e Aplicações

Setor	Aplicação
Social	Monitoramento do tráfego; Semáforo inteligente; Estacionamento inteligente; Monitoramento de possíveis eventos críticos; Qualidade de visibilidade das vias; Segurança da população; Melhorar a interatividade com o cidadão.
Ambiental	Monitoramento meteorológico; Monitoramento e alertas para possíveis catástrofes; Monitoramento da poluição; Detecção de gases tóxicos; Crédito de Carbono.
Econômico	Alerta de acidente ou disparo de arma de fogo; Redução do consumo de energia elétrica; Redução dos custos de manutenção.

elétrica, o que gerou uma economia de R\$ 3,5 milhões por ano [14]. No Rio Grande do Sul, a cidade de Porto Alegre também instalou um sistema de telegestão em sua rede de iluminação pública e conseguiu reduzir em 60% o consumo de energia elétrica, gerando uma economia de R\$ 3,5 milhões por ano. Além disso, o sistema permitiu que a cidade fizesse um monitoramento mais eficiente da iluminação pública, reduzindo o tempo médio de reparo de falhas em 70%, o que melhorou a qualidade da iluminação pública e aumentou a segurança nas ruas [15].

Os resultados dessas implementações demonstraram que o sistema de telegestão de iluminação pública pode trazer benefícios econômicos e sociais para as cidades, além de melhorar a eficiência e a qualidade da iluminação pública e contribuir para a preservação do meio ambiente pela redução do consumo de energia elétrica [11, 12, 13, 14, 15, 16]. Contudo, é importante ressaltar que as soluções tecnológicas de IoT para Cidades Inteligentes são diversas, visto que, cada cidade possui diferentes desafios particulares. Dessa maneira, é preciso desenvolver, testar e avaliar as diferentes tecnologias disponíveis, em cenários diversificados, para verificar os impactos de cada projeto e conseguir elaborar guias para orientar a aplicação de IoT nas cidades.

Em 2018, o Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), mantido pela Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações (FINATEL), enviou uma proposta de projeto piloto de IoT Cidades ao BNDES Pilotos IoT para apoio financeiro, com recursos não reembolsáveis. O referente projeto foi aceito e tem como objetivo implantar a telegestão na rede de iluminação inteligente e integrá-la com videomonitoramento para segurança pública [17]. As soluções tecnológicas serão testadas e avaliadas em três municípios, Santa Rita do Sapucaí/MG, Caxambu/MG e Pirai/RJ.

2.1 Informações sobre os municípios do projeto

O foco desse Projeto-Piloto é desenvolver soluções tecnológicas de IoT para cidades de pequeno e médio porte, ou seja, com menos de 100 mil habitantes. A implementação e avaliação da solução serão realizadas em 3 municípios brasileiros. As informações de cada local são apresentadas a seguir:

- **Santa Rita do Sapucaí/MG:**

- População estimada: 44.226 pessoas (2021) [18]
- Área Territorial: 352,969 km^2 (2021) [18]
- Densidade demográfica: 106,96 hab/km^2 (2010) [18]
- Mapa:

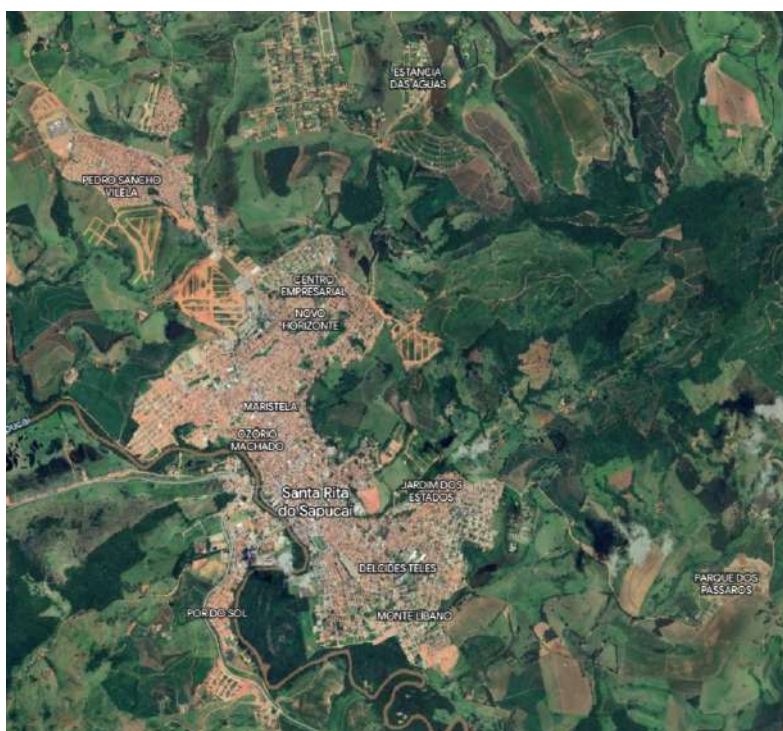


Figura 2.1: Santa Rita do Sapucaí/MG. Fonte: [19]

- **Caxambu/MG:**

- População estimada: 21.566 pessoas (2021) [19] [20]
- Área Territorial: 100,483 km^2 (2021) [20]
- Densidade demográfica: : 216,01 hab/km^2 (2010) [20]
- Mapa:



Figura 2.2: Caxambu/MG. Fonte: [21]

• **Piraí/RJ:**

- População estimada: 29.802 pessoas (2021) [19] [22]
- Área Territorial: 490,255 km² (2021) [22]
- Densidade demográfica: : 52,07 hab/km² (2010) [22]
- Mapa:

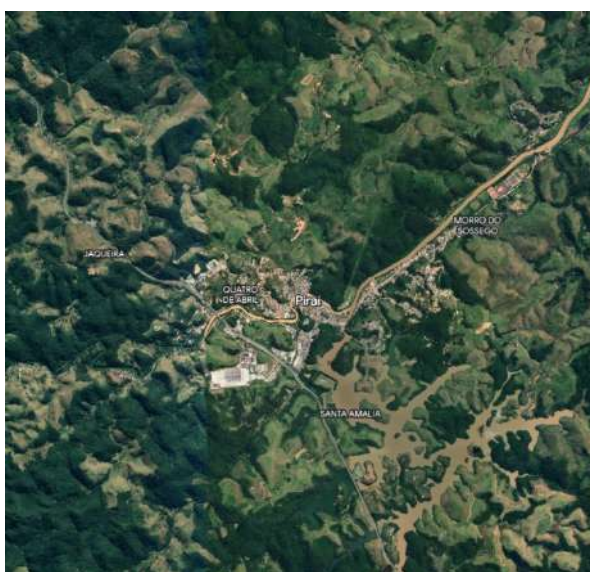


Figura 2.3: Piraí/RJ. Fonte: [23]

2.2 Parceiros Envolvidos no Sistema de Iluminação Pública Inteligente

Para que o projeto de iluminação pública inteligente seja implementado de forma eficiente, é fundamental a participação de diferentes parceiros que possam contribuir com recursos financeiros, tecnológicos e de gestão. Entre os parceiros desse projeto estão o BNDES, as prefeituras e municípios, a empresa Nouvenn e o Inatel. Cada um desses parceiros traz competências e habilidades específicas que são fundamentais para o sucesso do projeto de iluminação pública inteligente.

Capítulo 3

Contexto da Iluminação Pública

A primeira etapa do Projeto-Piloto de IoT Cidades é a implementação da telegestão na rede de Iluminação Pública inteligente, a qual será o objeto de estudo desse relatório. Na seção 3.1 são apresentadas as normas, resoluções e portarias importantes para o desenvolvimento de projetos em Iluminação Pública. Nas seções 3.2 e 3.3 são apresentados, respectivamente, os Sistemas de Iluminação Pública atual e o implementado com a telegestão. Na seção 3.4 são apresentados exemplos comparativos dos consumos de energia elétrica entre os sistemas de IP apresentados na seção anterior. Por fim, na seção 3.5 são descritas e comparadas as tecnologias disponíveis para a implementação da telegestão.

3.1 Regulamentos para a Iluminação Pública

Há requisitos mínimos e importantes para serem cumpridos a fim de desenvolver uma solução tecnológica de IoT para Iluminação Pública que atenda ao que é estabelecido nas normas, resoluções e portarias. A seguir são citados os documentos principais para garantir a correta implantação e funcionalidade do sistema e seus dispositivos.

- **Norma Técnica NBR 5101/2018** da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): determina as condições mínimas e necessárias para a iluminação de vias públicas [2];
- **Resolução Homologatória N^o 2.590, de 13 de agosto de 2019** da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): “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”[24];
- **Resolução Normativa ANEEL N^o 1.000, de 7 de dezembro de 2021**: “Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica” [25];
- **Despacho N^o 3.423, de 29 de novembro de 2022** da ANEEL: apresenta “o Manual de instruções do artigo 474 da Resolução Normativa n^o 1.000, de 7

de dezembro de 2021, para operacionalizar o faturamento destinado à iluminação pública caso sejam instalados sistemas de gestão” [26];

- **Portaria INMETRO/ME - número 62 - de 17 de fevereiro de 2022:** apresenta “o Regulamento Técnico da Qualidade e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Luminárias para a Iluminação Pública Viária” [27];
- **Portaria INMETRO/INMETRO - número 221 - de 23 de maio de 2022:** apresenta “a regulamentação técnica metrológica para sistemas de medição e medidores de energia elétrica composta pelos” [28] anexos, Regulamento Técnico Metrológico e Requisitos Técnicos de Segurança de *Software* e *Hardware*. O sistema de Iluminação Pública é um dos campos de aplicação do disposto nesta regulamentação.

3.2 Sistema de Iluminação Pública atual

Atualmente, a infraestrutura do Sistema de Iluminação Pública é composta pelo poste de luz, luminária, lâmpada, sensores (por exemplo, fotocélula ou relê fotoelétrico) e a fonte de energia elétrica. Normalmente, nesse sistema são utilizadas lâmpadas de descarga, como as de vapores de: sódio de alta pressão, mercúrio ou metálicos [3]. Desde a REN 414 da ANEEL, de 9 de setembro de 2010, além da responsabilidade pela prestação de serviços de IP, os municípios são responsáveis pela instalação e manutenção dos equipamentos que integram esse sistema. Já as concessionárias de energia elétrica são responsáveis pela distribuição e manutenção da energia elétrica, pelo cálculo da estimativa do consumo de energia elétrica do sistema e pela inserção, na conta de energia, da taxa mensal referente à Contribuição de Iluminação Pública (CIP) ou Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (Cosip), prevista pela Constituição Federal do Brasil e que muda seu valor para cada cidade, de acordo com a lei municipal [2, 25].

O cálculo estimado do consumo mensal de energia elétrica da IP, sem considerar o sistema de gestão, é realizado a partir da metodologia apresentada no art. 468 da Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 [25] e é dado pela equação (3.1):

$$Consumo_{mensal}(kWh) = \frac{potencia \times (n \times tempo - \frac{DIC}{2})}{1000} \quad (3.1)$$

em que:

- Potência: “potência nominal total do ponto de iluminação em Watts, incluídos os equipamentos auxiliares, conforme art. 473, devendo ser proporcionalizada em caso de alteração durante o ciclo” [25];

- n: “número de dias do mês ou o número de dias decorridos desde a instalação ou alteração do ponto de iluminação” [25];

- Tempo: “24 horas, para os logradouros que necessitem de iluminação permanente; ou Tempo médio anual por município homologado no Anexo I da Resolução Homologatória ANEEL nº 2.590, de 13 de agosto de 2019” [25];

- DIC: “Duração de Interrupção Individual da unidade consumidora que agrega os pontos de iluminação pública, em horas, do último mês disponível conforme cronograma de apuração da distribuidora e Módulo 8 do PRODIST” [25].

De acordo com a Resolução Homologatória Nº 2.590, de 13 de agosto de 2019, o tempo médio anual das luzes acionadas, nas três cidades participantes da implantação do projeto, é de 11h26min [24]. O acionamento das lâmpadas da IP acontece quando o sensor envia um sinal à distribuidora de energia elétrica ao detectar que a incidência de raios solares diminuiu. O mesmo procedimento acontece quando a incidência dos raios solares aumenta e as lâmpadas são desligadas. Dessa maneira, o nível de luminosidade das luminárias é constante durante todo o período em que estão acionadas e o horário de funcionamento pode variar de acordo com a estação do ano, onde o verão tem dias mais longos que o inverno. Além disso, quando ocorre uma falha na iluminação, é preciso que algum cidadão alerte o setor responsável ou que esse problema seja detectado pelo prestador de serviço durante a ronda programada para essa funcionalidade.

3.3 Sistema de Iluminação Pública Inteligente

No Sistema de Iluminação Pública Inteligente, há o aproveitamento da infraestrutura existente da IP, substituindo as lâmpadas de descarga por lâmpadas de diodo emissor de luz (do inglês, *Light Emitting Diode* (LED)) e instalando os dispositivos com tecnologia de IoT, como por exemplo, sensores e atuadores [29]. Nesse sistema, são os dados coletados que tornam possíveis o monitoramento e controle remotos da iluminação. Os sensores coletam os dados e os transmitem para um centralizador (ou um *gateway*) por meio de uma rede de comunicação interconectada utilizando, por exemplo, rede de topologia de malha. Por fim, esses dados são transmitidos para a nuvem para serem tratados e analisados pelo Centro de Controle de Operação, com auxílio de um *software*, e assim, serem geradas tomadas de decisão e ações de controle [3]. O caminho de transmissão dos dados e a topologia da rede mudarão de acordo com a tecnologia de transmissão de dados escolhida. A Figura 3.1 apresenta um exemplo de um ponto de luz inteligente, que utiliza o protocolo de comunicação Wi-SUN.

A ANEEL desenvolveu um Manual de Instruções do art. 474 da REN nº 1.000/2021, onde apresenta as metodologias para calcular o consumo mensal de energia elétrica do sistema da IP quando instalado um sistema de gestão. Esse cálculo pode ser realizado de três maneiras, dependendo do que é implementado no projeto [26]. Isto é, se há ou não a função de dimerização habilitada ou se há um dispositivo de medição de energia elétrica. As equações (3.2, 3.3) são apresentadas a seguir:

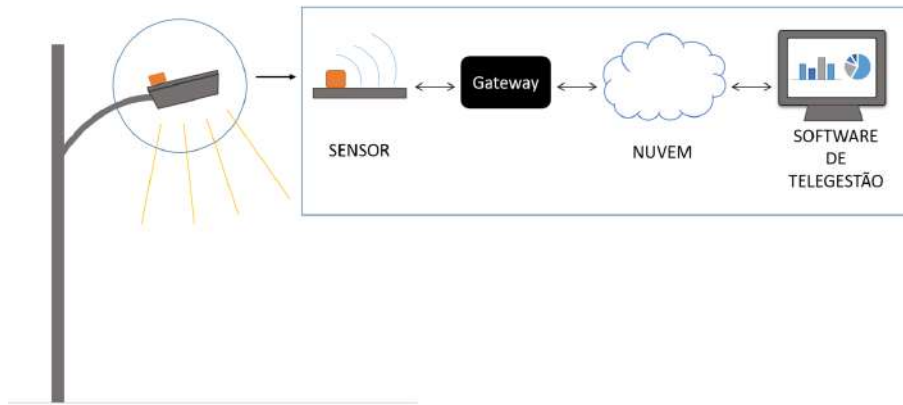


Figura 3.1: Sistema de Iluminação Pública Inteligente.

- **Cálculo estimado, pelo período de utilização e carga, sem utilizar a dimerização:**

$$Consumo_{diario}(kWh) = \frac{potencia \times tempo}{1000} \quad (3.2)$$

em que:

- Potência: “Potência nominal da luminária em Watts, incluída a potência dos equipamentos auxiliares, obtida por especificações do fabricante, normas específicas da ABNT ou ensaios realizados em laboratórios credenciados por órgão oficial” [26];
- Tempo: “somatório do tempo habitual de funcionamento no dia avaliado, considerando o horário de desligamento da luminária e o horário de acionamento imediatamente anterior, bem como os tempos extraordinários” [26].

- **Cálculo estimado, pelo período de utilização e carga, com dimerização:**

$$Consumo_{diario}(kWh) = \sum_{i=1}^n \frac{potencia \times FD_i \times tempo_i}{1000} \quad (3.3)$$

em que:

- Potência: “Potência nominal da luminária em Watts, incluída a potência dos equipamentos auxiliares, obtida por especificações do fabricante, normas específicas da ABNT ou ensaios realizados em laboratórios credenciados por órgão oficial” [26];
- Tempo_i: “tempo obtido pela diferença entre o horário de desligamento da luminária e o horário de acionamento imediatamente anterior no período n ” [26];
- FD_i: “fator de dimerização associado ao evento i de dimerização, indicando a porcentagem da potência obtida com o nível de dimerização realizada” [26];
- n : “número de períodos em que a luminária ficou acesa com diferentes eventos de dimerização, sendo no mínimo 1, considerado o funcionamento habitual e o extraordinário” [26];

- i: “evento de dimerização” [26].

- **Cálculo do consumo medido pelo sistema de gestão:** o dispositivo de medição do consumo da luminária deverá armazenar “o valor de energia elétrica ativa consumida acumulada em kWh” [26].

O acionamento e desligamento das lâmpadas acontecem igualmente ao sistema atual, através da detecção da incidência dos raios solares, mas utilizando dispositivos inteligentes. O diferencial desse sistema é a possibilidade de dimerização, que habilita o monitoramento e controle remotos da potência da lâmpada. Isto é, com o sensoramento constante e em tempo real, são coletados dados sobre o nível de luminosidade do ambiente externo e sobre a potência da lâmpada. De acordo com valores pré-estabelecidos e seguindo as normas de iluminação pública, em determinados períodos da noite e/ou madrugada, é possível reduzir ou aumentar a potência da lâmpada e alterar a luminosidade do local. Dessa maneira, há o controle individual de cada ponto de luz e a lâmpada não permanece com sua potência total em todo período de funcionamento, reduzindo a poluição luminosa, o consumo de energia elétrica, o custo gasto com iluminação e melhorando a eficiência energética, a sustentabilidade e a segurança dos cidadãos.

Outra possibilidade de aplicação, utilizando a dimerização, é o acionamento da lâmpada com um valor de potência aumentado, quando ocorre algum evento crítico no ambiente, por exemplo, um acidente de trânsito a noite. Além disso, quando ocorre uma falha na iluminação, não é mais preciso que algum cidadão alerte o setor responsável ou que esse problema seja detectado pelo prestador de serviço durante a ronda programada, porque o sensor irá detectar esse problema através do monitoramento do sistema e automaticamente alertará os responsáveis pela manutenção do local.

3.4 Comparação do consumo de energia elétrica entre sistemas de Iluminação Pública

A primeira etapa para a modernização da IP é a substituição da lâmpada de descarga pela lâmpada LED, porque essa última possui maior eficiência luminosa, maior tempo de vida útil, maior eficiência energética, menor impacto ambiental e permite a telegestão da iluminação [2, 3]. O preço da lâmpada LED ainda é superior ao da lâmpada de descarga [3], contudo, a longo prazo, esse investimento inicial terá o retorno na redução do custo com energia elétrica e manutenção, além dos benefícios já citados.

A fim de exemplificar a comparação do consumo de energia elétrica anual entre um sistema de IP normal e um sistema de IP inteligente, foram selecionados 2 cenários de comparação: *i*) uma lâmpada de descarga de vapor de sódio de 100W sem a função de dimerização, da empresa Ourolux [30], com uma lâmpada de LED de 72W sem a função de dimerização habilitada, da empresa LEDSTAR [31]; *ii*) as mesmas lâmpadas do item anterior, mas com a função de dimerização da lâmpada de LED habilitada.

Ressalta-se que, as lâmpadas citadas foram escolhidas considerando os valores do fluxo luminoso aproximados. Além disso, o período de funcionamento da lâmpada (entre o acionamento e desligamento) considerado foi o tempo médio anual de acionamento da lâmpada, apresentado na seção 3.2. A Tabela 3.1 apresenta os detalhes técnicos das lâmpadas.

Tabela 3.1: Parâmetros das lâmpadas.

	Lâmpada de descarga	Lâmpada de LED
Potência nominal(W)	100	72
Fluxo Luminoso Total(lm)	9500	10800
Tempo médio anual(h)	11,43	11,43
Certificada	Sim	Sim
Telegestão	Não	Sim

- **Primeiro cenário:** considera a lâmpada de LED com a função de dimerização desabilitada e apenas um ponto de luz. Conforme a equação 3.2, os resultados do consumo diário, mensal e anual são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Resultados dos consumos de energia elétrica.

Consumo da lâmpada (kWh)	Lâmpada de descarga sem dimerização	Lâmpada de LED sem dimerização
Diário	1,143	0,823
Mensal (30 dias)	34,29	24,69
Anual (12 meses)	411,48	296,28

De acordo com a tarifa B4 para Iluminação Pública, em específico B4b (Bulbo da lâmpada), utilizado pela Cemig [32], os custos da energia elétrica dos resultados da Tabela 3.2 são mostrados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Custos do consumo anual de energia elétrica.

	Lâmpada de descarga sem dimerização	Lâmpada de LED sem dimerização
Consumo anual (kWh)	411,48	296,28
Custo (R\$) - bandeira verde (0,39188 R\$/kWh)	161,25	116,11

Observa-se que, a utilização da lâmpada de LED é vantajosa, visto que, com fluxos luminosos aproximados, o consumo de energia elétrica é menor. Isto é, há uma redução de, aproximadamente, 28% do consumo de energia elétrica, demonstrando a melhor eficiência energética, redução de custos, além da não utilização de vapores de mercúrio, sódio ou metálicos.

- **Segundo cenário:** considera a lâmpada de LED com a função de dimerização habilitada e apenas um ponto de luz. Como o processo de dimerização não é igual para todos os dias, será realizada a comparação do consumo diário, considerando que em um dia, o fator de dimerização foi de 0,7 durante 3 horas. Conforme a equação (3.3), os resultados são apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Custos do consumo diário de energia elétrica.

	Lâmpada de descarga sem dimerização	Lâmpada de LED com dimerização
Consumo diário (kWh)	1,143	0,758
Custo (R\$) - bandeira verde (0,39188 R\$/kWh)	0,448	0,297

Comparando os resultados da Tabela 3.3 e 3.4, observa-se que a redução do consumo e custo de energia elétrica, no sistema de IP com lâmpada de LED habilitada para a dimerização, aumenta para aproximadamente 34%. Ressalta-se que, com a dimerização, há dias que o fator de dimerização poderá variar seu valor e período de duração, os quais influenciam no cálculo do consumo de energia, podendo alcançar valores ainda maiores de redução de consumo e custos. Além disso, em momentos que a bandeira tarifária não é verde, o valor por kWh aumentará, mostrando que a redução dos custos com energia elétrica se torna ainda mais significativa para o município.

3.5 Tecnologias

Há diferentes opções de protocolos de comunicação que podem ser utilizados nos projetos de IoT, os quais possuem características específicas. A escolha da tecnologia dependerá da área de aplicação do projeto que está sendo desenvolvido. Nesse tópico, estão sendo descritas as vantagens e desvantagens dos quatro principais protocolos conhecidos atualmente. Os protocolos são:

- **NB-IoT:** utiliza rede LTE, por isso, não requer *gateways* e é ideal para aplicações que exigem uma grande quantidade de transmissão dados, conexão confiável, longa duração da bateria e integração com a infraestrutura existente. No entanto, tem largura de banda limitada, preço elevado e tempo de resposta longo [33]. Sua topologia de rede é a estrela [34], como ilustrado na Figura 3.2.

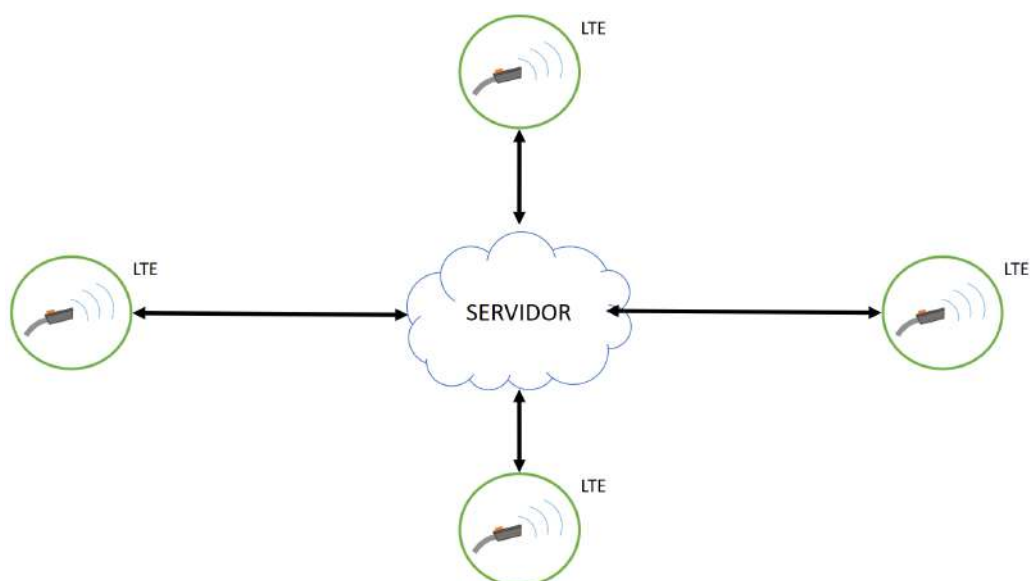


Figura 3.2: Topologia de rede de estrela com rede LTE.

- **LoRaWAN:** permite a transmissão de dados a longas distâncias com baixo custo e longa duração da bateria. É fácil de implementar e integrar com outras tecnologias sem fio, mas sua largura de banda é limitada e pode ser afetado por interferências de outras redes sem fio. Requer *gateways* para intermediar as comunicações entre dispositivos [35]. Sua topologia de rede é a estrela estendida [36], como ilustrado na figura 3.3.

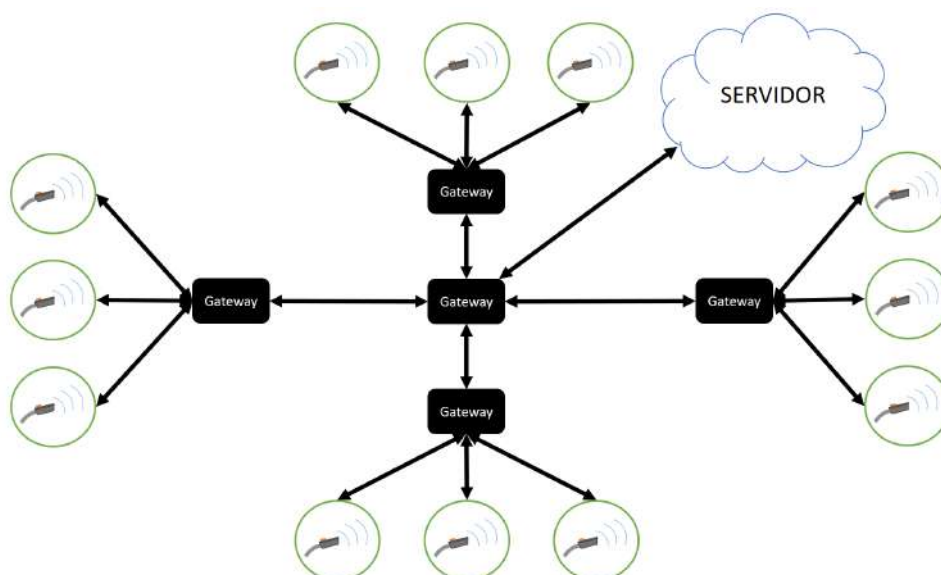


Figura 3.3: Topologia de rede estrela estendida.

- **Sigfox:** é uma tecnologia com baixo consumo de energia, ampla cobertura global, simplicidade de uso e baixo custo. É fácil de usar e integrar com outras tecnologias sem fio, mas sua largura de banda é limitada, pode ser afetado por interferências,

é uma tecnologia proprietária e requer uma assinatura paga [37]. Sua topologia de rede é a estrela [38], como ilustrado na figura 3.4.

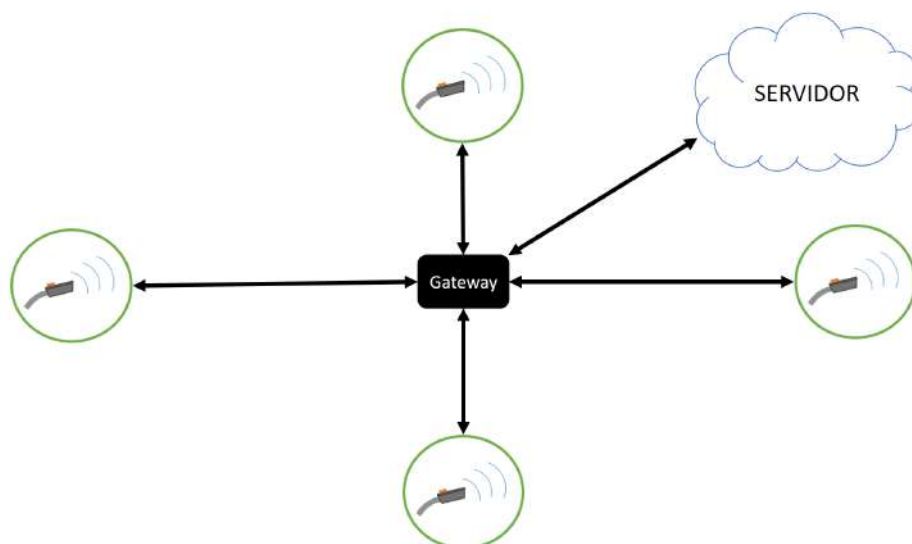


Figura 3.4: Topologia de rede estrela.

- **Wi-SUN:** é compatível com outras tecnologias sem fio, tem baixo consumo de energia, oferece ampla cobertura e inclui recursos de segurança robustos [39]. No entanto, a interferência pode afetar sua capacidade de transmitir dados em alta velocidade, e o custo pode ser um desafio para implementações em grande escala [40]. Sua topologia de rede é a de malha [39], como ilustrado na figura 3.5.

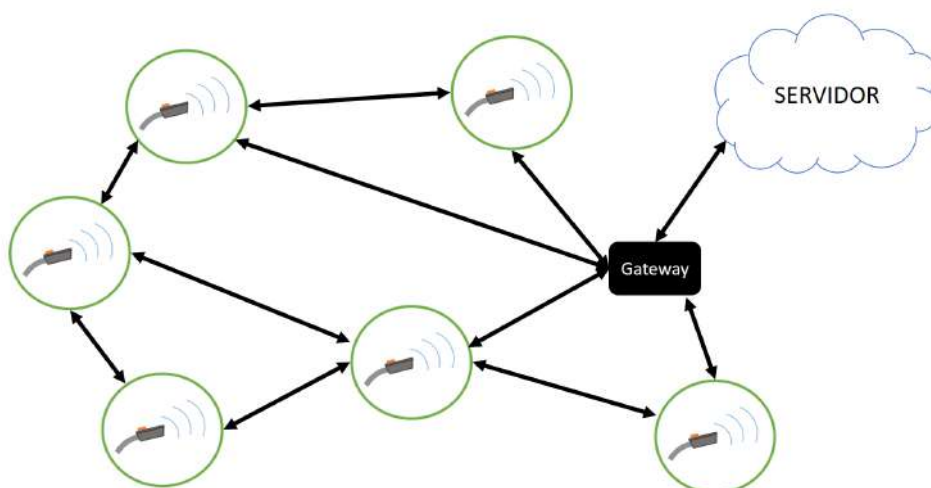


Figura 3.5: Topologia de rede de malha.

Cada tecnologia de comunicação sem fio tem suas vantagens e desvantagens e é importante escolher a mais adequada para cada aplicação. Algumas das características

da tecnologia que devem ser levadas em conta são: a largura de banda necessária para a transmissão de dados, a distância de transmissão, a cobertura geográfica, a segurança e os custos envolvidos. A escolha correta pode resultar em melhor desempenho, menor custo e maior eficiência energética. A Tabela 3.5 apresenta um gráfico comparativo entre os quatro principais protocolos de comunicação atualmente no mercado.

Tabela 3.5: Características dos protocolos de comunicação.

	NB-IoT	LoRaWan	SigFox	WI-SUN
Frequência	GSM/LTE Band	ISM-Band	ISM-Band	ISM-Band
Velocidade de transmissão	20-60 kbps	30-50 kbps	10-100 bps	50-300 kbps
Distância de transmissão	15KM	Urbano: 3-5 km Rural: 15 km	Urbano: 3-10 km Rural: 30-50 km	1 km
Melhor para	Dispositivos estáticos	Todos os dispositivos	Dispositivos estáticos	Todos os dispositivos
Consumo	Baixo	Baixo	Extremamente baixo	Baixo
Custo	Alto	Médio	Baixo (por mensagem enviada)	Médio
Observações	Adequado para grandes quantidades de dados.		Mais adequado para aplicações que exigem uma menor taxa de transferência de dados. Requer assinatura paga.	

Há outros protocolos no mercado, os quais não foram citados, como, por exemplo, *Weightless* e *Symphony Link*. Além disso, a tecnologia NB-IoT está em processo evolutivo para a rede 5G, porém, essa é uma tecnologia incipiente no Brasil, por esse motivo, não foi considerada uma boa alternativa. Para o projeto de iluminação pública inteligente, o protocolo de comunicação escolhido foi o Wi-SUN, dada a sua capacidade de oferecer interoperabilidade, baixo consumo de energia, cobertura ampla e segurança robusta, contudo, isso não significa que ele seja o melhor protocolo para todos os casos. Novos protocolos de IoT estão surgindo a todo momento e é impossível testá-los individualmente devido a restrições de orçamento e tempo. Além de que, após uma análise do padrão das cidades do projeto e dos custos de telefonia, foi concluído que o Wi-SUN é a tecnologia mais econômica para esse projeto pois utiliza conexão mesh e possui poucos pontos de comunicação com a rede.

Capítulo 4

Descrição da Solução de IoT testada

Neste capítulo, é descrita a solução tecnológica de IoT, proposta pelo Inatel, para a implementação da telegestão na Iluminação Pública Inteligente. Esse sistema será implementado nos três municípios apresentados na seção 2.1, mas para fins de exemplificação, na descrição da solução será utilizado o caso da cidade de Santa Rita de Sapucaí/MG.

A etapa inicial do processo de implementação da telegestão é a instalação dos dispositivos inteligentes para habilitar o monitoramento e controle remotos da iluminação. Buscando utilizar soluções já existentes no mercado para a viabilidade econômica da solução, a empresa parceira Nouvenn se tornou a responsável pelo fornecimento de equipamentos, componentes, *software* e determinados serviços para o sistema de IP inteligente [41]. Os equipamentos e serviços são:

- Controladoras de Iluminação Inteligente modelo SLC-X;
- Concentradores modelo GWW-2100BR;
- Licenças perpétuas do software de telegestão NLM Lite;
- Monitoramento remoto dos concentradores de dados;
- Suporte técnico remoto às equipes de operação e manutenção;
- Atualizações de *software* dos equipamentos para melhorias e/ou correções;
- Atualização do *software* de telegestão NLM Lite para melhorias e/ou correções;

Na cidade de Santa Rita do Sapucaí/MG foram instalados 600 pontos de luz com sistema de telegestão, do total de 5000 pontos. Os sensores foram interconectados por uma rede que utiliza o protocolo de comunicação Wi-SUN, o qual possui concentradores de dados (*gateways*) para receberem os dados transmitidos dos pontos de luz e, em seguida, os transmitir para a nuvem através da *internet*, por um modem 4G.

A rede de malha do município é apresentada na Figura 4.1, onde o *gateway* é representado pelo quadrado verde, o ponto de luz pelo círculo azul, o modem 4G pelo

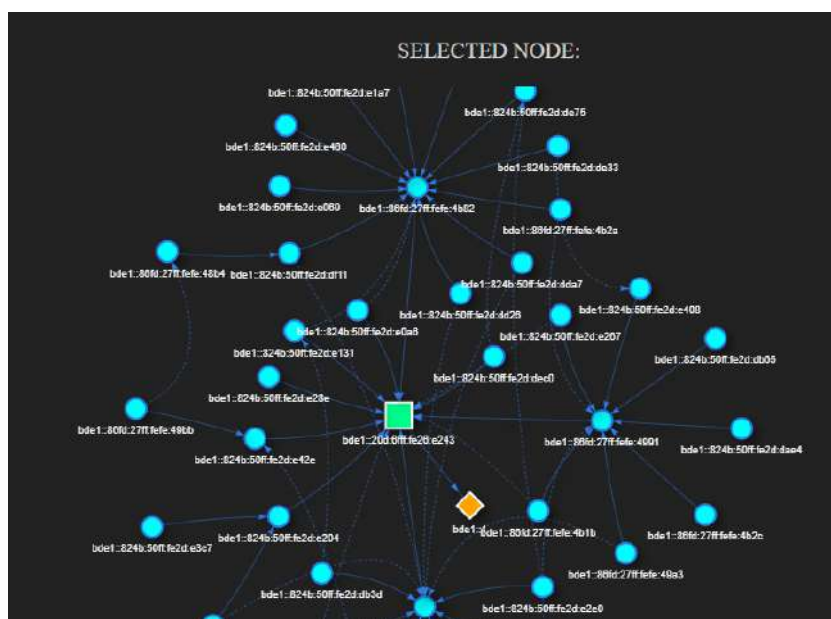


Figura 4.1: Rede de IoT de Santa Rita do Sapucaí/MG.

losango laranja e as possíveis rotas de transmissão dos dados pelas setas azuis. Observe que, há pontos de luz que não se comunicam diretamente com o *gateway*, precisando transmitir seus dados para pontos intermediários, ou seja, os dados saltam entre os pontos até chegarem ao destinatário.

Os dados coletados, para serem tratados e analisados, são transmitidos à central de controle instalada no local de monitoramento de câmeras da cidade. Após esse processamento, o *software* NLM Lite apresenta todas as informações do sistema, de acordo com os serviços desejados. No caso do município de Santa Rita do Sapucaí, as principais funcionalidades são: coleta de dados de iluminação e do consumo de energia, dimerização, acionamento e desligamento da lâmpada.

A tela principal da aplicação, mostrada na Figura 4.2, é um painel com os campos: *i*) mapa, onde o usuário poderá acessar o mapa da cidade; *ii*) status da telegestão, para verificar se estão funcionando corretamente os pontos de luz ou se há algum sem rede ou com evento; *iii*) informações sobre a infraestrutura, apresentando o total de pontos de luz, quantos destes estão habilitados ou não para telegestão e quantos possuem telegestão por pétala ou por ponto e; *iv*) consumo mensal, informando o valor do consumo diário.

Ao clicar no espaço do mapa, será mostrada uma tela semelhante a Figura 4.3, onde são apresentadas as posições espaciais de cada ponto de luz que possui o sistema de telegestão instalado. Ao clicar em um determinado ponto, são fornecidas suas informações, como apresentado na Figura 4.4.

Além das informações, também são fornecidas as ações de controle da iluminação: *i*) dimerização, em que é possível alterar o fator de dimerização da lâmpada; *ii*) modo de operação manual, automático, astronômico ou agendamento; *iii*) estado do relé, ligado ou desligado; *iv*) configurações e; *v*) relatório de configurações.

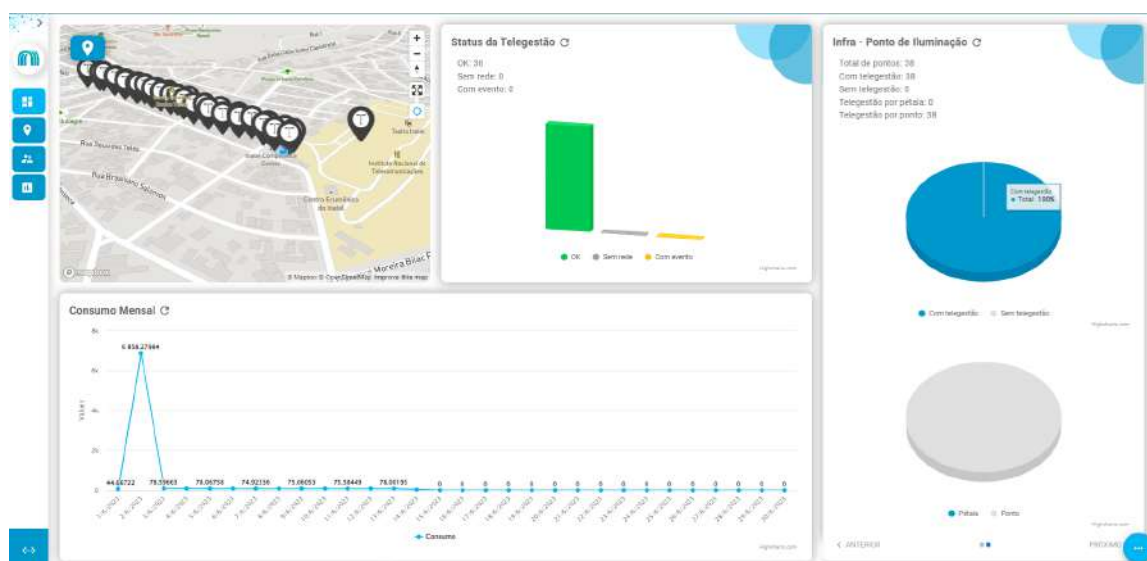


Figura 4.2: Informações Gerais do Sistema de Iluminação Pública.

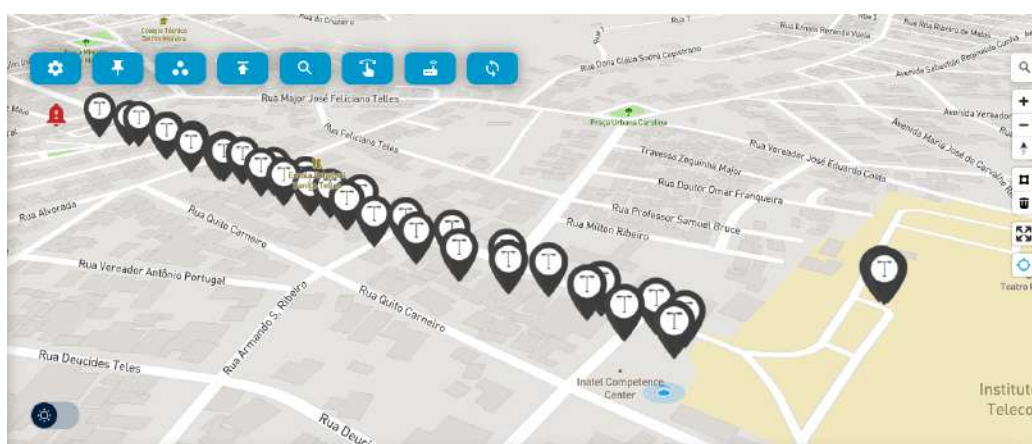


Figura 4.3: Pontos de luz de Santa Rita do Sapucaí/MG.

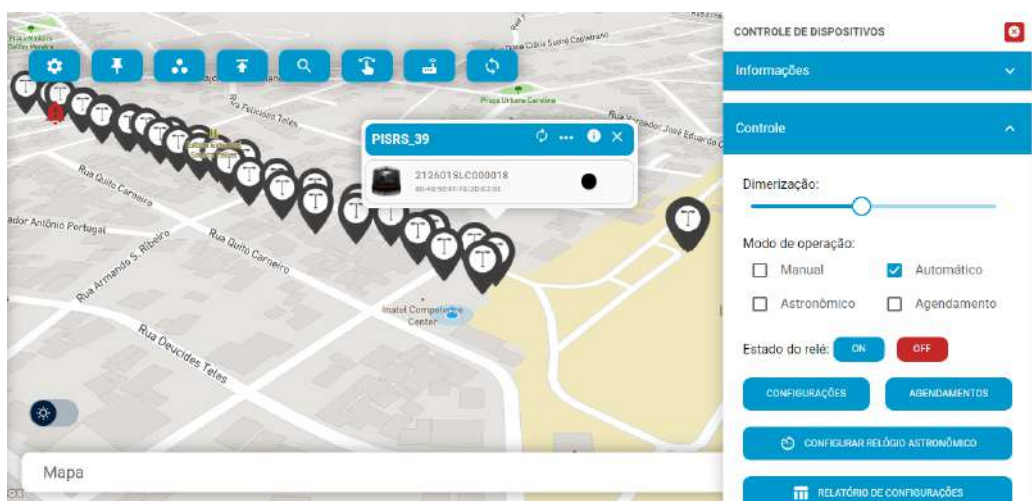


Figura 4.4: Informações de controle sobre um ponto de luz inteligente.

As informações dos sensores de cada ponto de luz são classificadas em 5 áreas principais, como apresentado na Tabela 4.1. Esses parâmetros são apresentados ao usuário, como mostrado na Figura 4.5.

Tabela 4.1: Parâmetros do sistema de Iluminação Pública inteligente.

Setor	Indicadores
Energia	Tensão; Corrente; Energia Ativa Acumulada; Energia Reativa Acumulada; Frequência; Fator; Potência Ativa; Potência Reativa; Potência Aparente; Gráficos de tensão e corrente.
Status de Controle	Status da lâmpada; Luminosidade mínima para acionar a lâmpada; Luminosidade máxima para desligar a lâmpada; Modo de operação; Percentual de dimerização.
Luminosidade	Luminosidade (lux); Gráfico de luminosidade.
Microfone	Nível de pressão sonora; Gráfico do nível de pressão sonora.
Temperatura	Temperatura (Celsius)

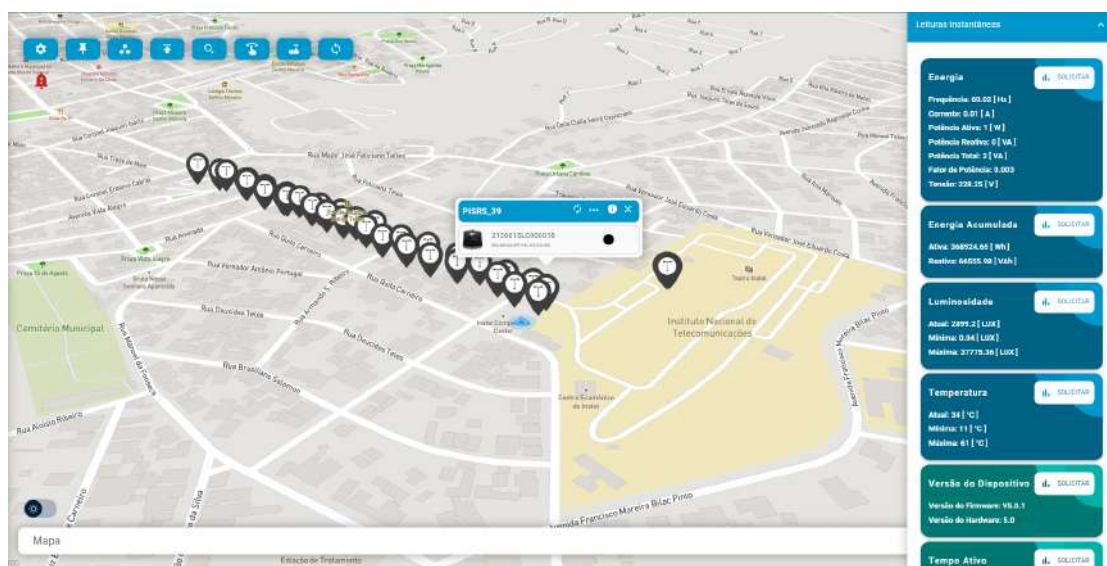


Figura 4.5: Informações sobre um ponto de luz inteligente.

Capítulo 5

Desafios de implementação

A implementação da iluminação pública inteligente é uma tarefa que requer planejamento cuidadoso e atenção aos detalhes. Embora traga muitos benefícios, como economia de energia e aumento da segurança nas ruas, é importante lembrar que existem desafios a serem superados para garantir seu sucesso. É preciso considerar aspectos técnicos, operacionais, regulatórios e de expectativas da população, tais como:

- **Integração com a infraestrutura existente:** a integração do sistema de iluminação pública inteligente com a infraestrutura existente, como postes e cabos de energia elétrica, pode ser complexa e requer planejamento cuidadoso para garantir a compatibilidade.
- **Coleta e análise de dados:** a coleta e análise de dados gerados pelo sistema de iluminação pública inteligente é uma tarefa que requer o desenvolvimento de algoritmos de processamento de dados e a infraestrutura de armazenamento e gerenciamento de dados adequada.
- **Custo:** a implementação de uma infraestrutura de iluminação pública inteligente pode ser cara, especialmente em cidades maiores. O financiamento pode ser um desafio, especialmente para cidades menores com orçamentos limitados.
- **Manutenção e suporte:** a infraestrutura de IoT precisa de manutenção e suporte contínuos para garantir que esteja funcionando corretamente e para evitar problemas de segurança. Isso pode ser um desafio em grandes cidades com muitos dispositivos.
- **Capacitação:** o manuseio dos equipamentos instalados requer uma equipe de funcionários qualificada, isso exigiria treinamentos de toda a equipe responsável por essa área, podendo elevar os gastos.
- **Privacidade e segurança dos dados coletados:** a coleta de dados pelo sistema de iluminação pública inteligente deve ser realizada de modo transparente e respeitando a privacidade dos cidadãos. Além disso, medidas de segurança devem ser implementadas para proteger os dados coletados de potenciais ameaças.

Referências Bibliográficas

- [1] (2022) Iluminação Pública. [Online]. Available: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/iluminacao-publica>
- [2] BNDES Hub de Projetos. Iluminação Pública. [Online]. Available: <https://hubdeprojetos.bndes.gov.br/pt/setores/Iluminacao-Publica>
- [3] G. A. Soares, P. R. M. Baratella, and C. Griebenow, “Iluminação pública municipal - programas e políticas públicas - orientações para gestores municipais,” 2018. [Online]. Available: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/sef/livreto-iluminacao-publica_2018_02_19.pdf
- [4] (2018) Produto 9a: Relatório Final do Estudo. [Online]. Available: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/d22e7598-55f5-4ed5-b9e5-543d1e5c6dec/produto-9A-relatorio-final-estudo-de-iot.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m5WVld>
- [5] Sebrae. (2023) O que é crédito de carbono? [Online]. Available: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/o-que-e-credito-de-carbono,0371bc6d15757810VgnVCM1000001b00320aRCRD>
- [6] (2004) LEI N° 11.079, DE 30 DE DEZEMBRO DE 2004. [Online]. Available: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/111079.htm
- [7] IBGE. Cidades e Estados. [Online]. Available: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>
- [8] ——. (2021) Estimativas da População. [Online]. Available: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>
- [9] (2017) Produto 8: Relatório do Plano de Ação. [Online]. Available: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/269bc780-8cdb-4b9b-a297-53955103d4c5/relatorio-final-plano-de-acao-produto-8-alterado.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m0jDUok>
- [10] (2017) Produto 7A: Aprofundamento de Verticais - Cidades. [Online]. Available: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/>

-
- site/776017fa-7c4a-43db-908f-c054639f1b88/relatorio-aprofundamento+das+verticais-cidades-produto-7A.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m3rPg5Q
- [11] “*Los Angeles Saves Millions with Smart Street Lights*,” Electrical Contractor. [Online]. Available: <https://www.ecmag.com/section/your-business/los-angeles-saves-millions-smart-street-lights>
- [12] *Smart Outdoor Lighting Alliance Annual Report 2019*. [Online]. Available: <https://www.solalliance.org/2019-sola-annual-report/>
- [13] *Smart Street Lighting NY: Final Report*. [Online]. Available: https://www.nyserda.ny.gov/-/media/NYSun/files/Smart_Street_Lighting_NY_Final_Report.pdf
- [14] Prefeitura de Osasco. (2018) Osasco instala sistema de telegestão de iluminação pública. [Online]. Available: <http://www.osasco.sp.gov.br/noticias/osasco-instala-sistema-de-telegestao-de-iluminacao-publica/>
- [15] Agência Brasil. (2019) Porto alegre reduz em 60% o consumo de energia em iluminação pública. [Online]. Available: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-09/porto-alegre-reduz-em-60-o-consumo-de-energia-em-iluminacao-publica>
- [16] Revista Gestão Pública em Curitiba. (2019) Eficiência energética: Uma nova realidade para a iluminação pública. [Online]. Available: <https://gestaopublica.curitiba.pr.gov.br/sites/gestaopublica.curitiba.pr.gov.br/files/2019-12/Revista%20Gest%C3%A3o%20P%C3%BAblica%20Curitiba%20-%20Edi%C3%A7%C3%A3o%202.pdf#page=64>
- [17] BNDES. BNDES Pilotos IoT - Internet das Coisas. [Online]. Available: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/onde-atuamos/inovacao/internet-das-coisas/bndes-projetos-piloto-internet-das-coisas/bndes-pilotos-iot-internet-das-coisas>
- [18] IBGE. Cidades e Estados. [Online]. Available: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/santa-rita-do-sapucaí.html>
- [19] Google. (2022) *Google Earth*. [Online]. Available: <https://earth.google.com/web/@-22.2481203,-45.69771196,891.26221225a,12999.80446118d,35y,0h,0t,0r>
- [20] IBGE. Cidades e Estados. [Online]. Available: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/caxambu.html>
- [21] Google. (2021) *Google Earth*. [Online]. Available: <https://earth.google.com/web/search/Caxambu,+MG/@-21.98459963,-44>

-
- 93253246,930.91344124a,12991.18165254d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCTA3-
ABtNTbAEU85juCYSTbAGQzJqvTm00bAIUXBiEu23kbA
- [22] IBGE. Cidades e Estados. [Online]. Available: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/pirai.html>
- [23] Google. *Google Earth*. [Online]. Available: https://earth.google.com/web/search/Pira%C3%ad,+RJ/@-22.62736872,-43.90356159,368.07216204a,17946.77045051d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCVd5Sp7x8TXAEY69TAcPbjbAGcmUnln1cUbAIVWcPK_FfEbA
- [24] ANEEL. (2019) RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 2.590, DE 13 DE AGOSTO DE 2019. [Online]. Available: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192590ti.pdf>
- [25] (2021) RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021. [Online]. Available: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>
- [26] ANEEL. (2022) DESPACHO Nº 3.423, DE 29 DE NOVEMBRO DE 2022. [Online]. Available: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/dsp20223423ti.pdf>
- [27] INMETRO. (2022) PORTARIA Nº 62, DE 17 DE FEVEREIRO DE 2022. [Online]. Available: <http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002921.pdf>
- [28] —. (2022) Portaria nº 221, de 23 de maio de 2022. [Online]. Available: <http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002983.pdf>
- [29] (2018) Cartilha de Cidades. [Online]. Available: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/db27849e-dd37-4fbd-9046-6fda14b53ad0/produto-13-cartilha-das-cidades-publicada.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m7tz8bf>
- [30] Orolux. Lâmpada Sódio Ovoide 100W E40. [Online]. Available: <https://ourolux.com.br/produtos/iluminac-o/lampadas-de-descarga/lampada-sodio-ovoide-100w-e40.html>
- [31] LEDSTAR. Luminária Pública LED 72W LEDSTAR® DURA. [Online]. Available: <https://ledstar.com.br/produto/luminaria-publica-led-72w-dura/>
- [32] Cemig. VALORES DE TARIFAS E SERVIÇOS. [Online]. Available: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>
- [33] A. Ukovich. (2022) *NB-IoT Explained: What Is It, and How Does It Work?* [Online]. Available: <https://www.telit.com/blog/nb-iot-new-cellular-standard-means-business/#:~:>

text=NB-IoT%20is%20a%20Low%20Power%20Wide%20Area%20Network,
and%20businesses%20while%20expending%20low%20amounts%20of%20energy.

- [34] Wi-SUN Alliance. (2017) *Comparing IoT Networks at a Glance*. [Online]. Available: https://www.wi-sun.org/wp-content/uploads/Wi-SUN-Alliance-Comparing-IoT_Networks-r1.pdf
- [35] The Things Network. Lorawan®. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/modulation-data-rate/>
- [36] LoRa Alliance. *What is LoRaWAN® Specification*. [Online]. Available: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- [37] Gabriel. (2019) *An Introduction to Sigfox Technology – Basics, Architecture and Security Features*. [Online]. Available: <https://circuitdigest.com/article/what-is-sigfox-basics-architecture-and-security-features#:~:text=Sigfox%20is%20a%20long%20range%20cellular%20wireless%20communication,stations%20that%20are%20integrated%20with%20software%20defined%20radios.>
- [38] Sigfox. (2023) *SIGFOX 0G TECHNOLOGY*. [Online]. Available: <https://www.sigfox.com/technology/>
- [39] RF Wireless World. (2012) *Wi-SUN FAN architecture – Benefits or Advantages of Wi-SUN network*. [Online]. Available: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Benefits-or-Advantages-of-Wi-SUN-technology.html>
- [40] M. Besch. (2018) *The Hidden Problem of the Wi-SUN Alliance*. [Online]. Available: <https://blog.sensus.com/the-hidden-problem-of-the-wi-sun-alliance/>
- [41] Nouvenn. *Cidades Inteligentes*. [Online]. Available: <https://www.nouvenn.com/areas-de-atuacao/cidades-inteligentes>