

Testes de Lâmpadas para Eficiência Energética em Cidades Inteligentes

Annelise Melfi de Andrade Zorzi Bruner¹, José Américo Alves Salvador Filho², Mario T Shimanuki³

¹ Cursando Bacharelado em Engenharia Civil, Bolsista de pesquisa CEPIN-CIS, IFSP, Campus Caraguatatuba, annelise.melfi@aluno.ifsp.edu.br

² Professor do curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de São Paulo, IFSP, Campus Caraguatatuba, jasalvador@ifsp.edu.br

³ Professor do curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Instituto Federal de São Paulo, IFSP, Campus Caraguatatuba, mario@ifspcaragua.net

RESUMO:

O artigo descreve a importância das cidades inteligentes e sua evolução impulsionada pela tecnologia, com foco nas lâmpadas LED e na automação com Arduino. A interconexão de tecnologias é crucial para a melhoria da infraestrutura urbana, e as lâmpadas LED desempenham um papel fundamental na eficiência energética e na redução de emissões de carbono. São descritos os experimentos realizados com: o microcontrolador Arduino, sensor de corrente ACS712, lâmpada LED e relé. Esses experimentos visam aprofundar a compreensão dos sistemas LED e explorar aplicações inovadoras, contribuindo para cidades mais eficientes e sustentáveis no futuro.

PALAVRAS-CHAVE:

Lâmpadas LED; Arduino; Teste; Cidades Inteligentes e Sustentáveis.

1. INTRODUÇÃO

As definições de cidades inteligentes são bem diversas integrando sistemas técnicos e de infraestrutura em busca de uma melhor qualidade de vida para os habitantes. Para alcançar esse objetivo existem diversos caminhos que podem ser seguidos, com foco em mobilidade urbana, em desenvolvimento de moradias e no desenvolvimento tecnológico. Todas essas vertentes possuem a análise de dados em comum, sendo o ponto inicial para qualquer tipo de desenvolvimento.

A crescente evolução tecnológica tem impulsionado o conceito de cidades inteligentes, sendo caracterizadas pelo amplo uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), visando aprimorar a eficiência política, econômica e social, ao mesmo tempo em que promovem a qualidade de vida dos cidadãos.

A base dessa transformação reside na Internet das Coisas (IoT), uma revolucionária abordagem que viabiliza a visão das cidades inteligentes. A IoT proporciona avançadas tecnologias de comunicação, impulsionando serviços de valor agregado para a administração urbana. Com a interconexão de dispositivos, sensores e sistemas, é possível obter dados em tempo real, facilitando o gerenciamento e a tomada de decisões em áreas como transporte, iluminação pública, saneamento, segurança e muito mais.

Elas são formadas a partir da qualidade de vida dos cidadãos, educação, gestão eficiente de tempo e dinheiro, desenvolvimento econômico, inclusão social, preservação ambiental, entre outras coisas. Para que isso seja possível, é necessário lideranças inteligentes dos gestores, empresários, conselheiros, iniciativa privada, instituições de ensino, cidadãos, ONGs, sociedade civil especializada e setores públicos (garante o princípio da legalidade). Tendo assim, investimentos em capital humano, sociais e infraestrutura moderna de Tecnologias da Informação e da Comunicação.

De acordo com Lazzaretti *Et Al.* (2019), um grande marco para a evolução do desenvolvimento das cidades inteligentes aconteceu durante o Fórum Mundial de 1997, quando em torno de 50 mil cidades e vilas do mundo criaram iniciativas inteligentes que seriam aplicadas na próxima década. Esse acontecimento fez com que cidades inteligentes se tornasse um dispositivo estratégico para abranger os fatores de produção urbana moderna, combatendo os problemas de crescimento da população urbana e pela rápida urbanização.

O conceito de cidade inteligente será diferente para cada país em que é aplicado, sendo adaptado para a sua realidade.

De acordo com Picon (2017, p. 46):

Os caminhos que levam as cidade inteligente na Europa – onde cidades possuem uma herança rica de infraestrutura tradicional, de saneamento e transporte público – não podem ser os mesmos das metrópoles dos países em desenvolvimento, onde a infraestrutura é frequentemente precária (SÁNCHEZ-GENDRIZ; BARBOSA, 2021).

No Brasil é um grande desafio conseguir implantar as cidades inteligentes, tendo moradias irregulares, mobilidade urbana, baixa coleta de esgoto e acesso à água potável e tratada, além de ineficiência, corrupção e burocratização. Além disso, existe a necessidade de seguir o princípio da legalidade, ou seja, criação de leis para virar políticas públicas, um passo que está se tornando cada vez

mais fácil de ser tomado, considerando que atualmente muitas políticas públicas estão sendo voltadas para o desenvolvimento inteligente.

Um novo âmbito que está sendo explorado em Curitiba é o aprofundamento no uso da Internet das Coisas. As ruas inteligentes combinam elementos tradicionais do domínio público com sistemas ciberfísicos, explorando as ideias trazidas com o Metaverso. O grau da inteligência vem da aplicação de dados em tempo real obtidos por sensores físicos e virtuais; da interconexão entre diferentes serviços e tecnologias da área urbana; da inteligência da visualização e interpretação dos dados para a otimização de operações resultantes dessa análise (MORALES, 2021).

Para isso podem ser utilizados diversos recursos. Como o mobiliário urbano responsivo, que utiliza tecnologia para deixar as ruas mais acessíveis para pessoas com deficiências. Ou seja, uso de sinais digitais e sistemas de beacons (dispositivos que emitem sinais ou mensagens digitais para dispositivos próximos, como smartphones, tablets ou outros dispositivos compatíveis) instalados ao longo das vias que disponibilizam mensagens com informações sobre o local (MORALES, 2021).

Neste contexto, em 2022 foi estabelecido o Centro de Pesquisa e Inovação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis (CEPIN-CIS) no IFSP Câmpus Caraguatatuba, com um escopo amplo de estudos. O centro desempenha um papel essencial no apoio às atividades e eventos realizados pelo Câmpus, garantindo que suas iniciativas ocorram de maneira eficaz e bem-sucedida. Além disso, o CEPIN-CIS participa ativamente de estudos e programas de capacitação, mantendo-se atualizado com as últimas tendências e conhecimentos nas áreas da construção civil e desenvolvimento de tecnologia.

No CEPIN-CIS também são realizados testes práticos em diversos contextos, abrangendo desde materiais, como o concreto e seus complementos, até tecnologias, como os sistemas microprocessados. Esses testes práticos são fundamentais para validar as teorias e hipóteses desenvolvidas nas pesquisas, permitindo a experimentação real e a avaliação de resultados concretos, e podem ser realizados com o objetivo de realização de testes e homologação de lâmpadas para a eficiência energética.

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho está na importância da pesquisa sobre a automação para o monitoramento do desempenho das lâmpadas LED em um contexto de cidades inteligentes e sustentáveis. Nas cidades do futuro, a interconexão de tecnologias desempenha um papel crucial na melhoria da infraestrutura urbana e na promoção da sustentabilidade. As lâmpadas LED,

conhecidas por sua eficiência energética e longa vida útil, desempenham um papel fundamental nesse processo, contribuindo para a otimização do consumo de energia e a redução das emissões de carbono nas áreas urbanas. O presente trabalho buscou realizar um levantamento de soluções tecnológicas para a realização de testes e validação em lâmpadas, bem como criar uma infraestrutura para a realização dos testes. Esta iniciativa permitirá a homologação das lâmpadas em trabalhos futuros do CEPIN-CIS.

Para alcançar este objetivo, foi necessária a condução de levantamentos bibliográficos e práticos, o que implica na coleta e análise de informações e dados relevantes para as pesquisas em andamento. Esses estudos contribuem para o avanço do conhecimento e a criação de soluções inovadoras em cidades inteligentes e sustentáveis, e foi centrada nos seguintes temas: Iluminação das cidades inteligentes e sustentáveis, Utilização do Arduino como ferramenta de automação de sistemas de iluminação; e Parâmetros de desempenho das lâmpadas.

A partir do levantamento bibliográfico, foi elaborada uma série de experimentos com o objetivo de simular situações práticas nas quais o Arduino pode ser empregado para monitorar o desempenho de lâmpadas LED, identificando falhas, como a queima da lâmpada. Nestes testes, foram utilizados: Arduino, sensor de corrente ACS712; lâmpada LED; e relé. Além disso, este estudo envolve a realização de testes para avaliar a durabilidade das lâmpadas ao longo do tempo de operação, contribuindo assim para o avanço do conhecimento e para a aplicação prática dessa tecnologia em benefício das cidades inteligentes e sustentáveis do futuro.

Nos tópicos seguintes são apresentados os resultados e discussões de cada etapa deste trabalho.

2. A ILUMINAÇÃO DAS CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS

A iluminação desempenha um papel fundamental no cotidiano das cidades por proporcionar segurança e conforto aos habitantes urbanos. Assim, a iluminação eficiente desempenha um papel crucial na otimização do consumo de energia e na redução das emissões de carbono no desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis.

De modo geral, diversos autores ressaltam a importância da iluminação na criação de ambientes urbanos inteligentes e sustentáveis. CASTRO, JARA e SKARMETA (2013) enfatizam o papel das soluções de iluminação inteligente na redução do consumo de energia e nas emissões de gases de efeito estufa, enquanto ZIELINSKA-DABKOWSKA (2022) discute o impacto negativo da luz artificial à

noite na saúde humana e no meio ambiente. POPA e MARCU (2012) concentra-se na implementação de sistemas de iluminação pública autônomos e eficientes em cidades inteligentes, e TAVARES et al (2021) revisam o potencial da iluminação externa na consecução de diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como cidades e comunidades sustentáveis, boa saúde e bem-estar, e ação climática.

Desta forma, nas cidades do futuro, sistemas de iluminação inteligente, como lâmpadas LED com automação, oferecem a capacidade de ajustar dinamicamente a intensidade da iluminação com base na presença de pessoas e nas condições de luminosidade natural. Isso não apenas proporciona economia energia, mas também contribui para a criação de ambientes urbanos mais seguros, agradáveis e ambientalmente responsáveis. A integração de sensores de falhas nas lâmpadas também possibilita uma detecção imediata de problemas, melhorando a eficiência da manutenção e a qualidade de vida dos moradores urbanos.

3. USO DO ARDUINO EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open-source* que permite a criação e desenvolvimento de projetos interativos. Ele é composto por hardware e software, projetados para serem acessíveis e fáceis de usar, mesmo para pessoas sem muita experiência em eletrônica ou programação (LOUSADA, 2020).

De acordo com Lousada (2020), o hardware do Arduino é uma placa de circuito contendo um microcontrolador, que é o cérebro do dispositivo. Essa placa é equipada com pinos de entrada e saída, permitindo a conexão de sensores, atuadores e outros componentes eletrônicos. Existem diversos modelos de placas Arduino disponíveis, cada um com suas características específicas, mas todos eles têm em comum a facilidade de uso e a flexibilidade para criar uma ampla variedade de projetos.

O software do Arduino é uma plataforma de desenvolvimento que permite escrever e carregar códigos para o microcontrolador da placa. A programação é feita em uma linguagem de programação simplificada baseada em C/C++, o que torna mais fácil para iniciantes aprenderem a criar seus próprios programas. O software Arduino também fornece uma biblioteca extensa de funções que facilitam o acesso a recursos do hardware, simplificando ainda mais o processo de desenvolvimento.

O Arduino é amplamente utilizado em projetos de automação residencial, robótica, arte interativa, Internet das Coisas (IoT) e muitas outras aplicações criativas. Sua popularidade se deve à sua acessibilidade, flexibilidade e à vibrante comunidade de desenvolvedores que compartilham projetos, tutoriais e conhecimentos, tornando o Arduino uma opção atrativa para estudantes, entusiastas e profissionais que desejam explorar o mundo da eletrônica e da programação de maneira prática e divertida.

Estas características fazem com que a integração do Arduino à sistemas de iluminação represente um avanço significativo no desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis, permitindo a criação de uma abordagem mais dinâmica e eficiente. Sensores incorporados às lâmpadas e conectados à rede elétrica possibilitam o monitoramento constante do consumo de energia e da integridade da infraestrutura de iluminação. Além disso, o Arduino pode ser empregado para ajustar a intensidade da iluminação com base na presença de pessoas e nos níveis de luminosidade natural, maximizando assim a eficiência energética.

A incorporação de sensores de falha nas lâmpadas oferece benefícios adicionais, como a capacidade de detecção imediata de problemas, como a queima de uma lâmpada. Isso reduz significativamente o tempo de resposta da equipe de manutenção, garantindo a substituição rápida e eficiente das lâmpadas defeituosas. Como resultado, as áreas urbanas se tornam mais seguras e bem iluminadas, aumentando a qualidade de vida dos habitantes.

A interconexão de lâmpadas, Arduino, sensores e redes elétricas cria um ecossistema integrado de iluminação e monitoramento. Esse sistema não apenas economiza energia e recursos, mas também contribui para a construção de cidades mais seguras, sustentáveis e resilientes. A integração inteligente desses componentes exemplifica como a tecnologia pode transformar cidades em lugares mais eficientes, adaptáveis e agradáveis para seus habitantes.

4. PARÂMETROS DE DESEMPENHO DAS LÂMPADAS LED

A Portaria 069/2022 do INMETRO estabelece novas diretrizes e regulamentações para melhorar a qualidade das lâmpadas disponíveis no mercado brasileiro, garantindo que os produtos atendam a padrões mínimos de desempenho e segurança, ao mesmo tempo em que proporcionam informações relevantes aos consumidores. Ela aborda questões como padronização de produtos, requisitos de qualidade, métodos de teste e procedimentos de certificação.

Além disso, a portaria busca garantir a segurança dos consumidores ao definir critérios mais rigorosos para a comercialização de determinados produtos. Ela também detalha os processos de avaliação de conformidade e os requisitos que as empresas devem atender para obter a certificação do Inmetro. Através dessas medidas, a Portaria 069/2022 visa aprimorar a qualidade dos produtos oferecidos no mercado e fortalecer a confiança dos consumidores nas suas escolhas.

Nesta Portaria, as lâmpadas LED são definidas como:

Lâmpadas que produzem luz através do fenômeno conhecido por eletroluminescência, realizado em material semicondutor (produção de luz em estado sólido), ao contrário de outras lâmpadas que utilizam filamentos metálicos aquecidos ou descargas elétricas em gases (Portaria 069/2022).

Desse modo, a lâmpada é composta por 4 partes, sendo elas: o conversor de energia elétrica em energia luminosa, que possui em si um ou mais LEDs; a parte composta pelas lentes ou difusores; o dispositivo de controle de corrente, que determina o fluxo de energia que irá passar pelo LED; e por último é a parte constituída por uma ou duas bases que serão responsáveis pelo contato entre a lâmpada e o circuito fornecedor de energia.

É definido também que o período de vida útil de uma lâmpada deverá ser definido pelo tempo em que o LED fornece 70% ou mais do fluxo inicial luminoso. Sendo definido a partir de uma amostra de lâmpadas e responsabilidade do fabricante.

Em relação ao fator de potência das lâmpadas, a Portaria 069/2022 do Inmetro estabelece requisitos específicos. Para lâmpadas com potência declarada entre 5 W e 25 W, o fator de potência deve ser igual ou superior a 0,70. Lâmpadas com potência declarada inferior a 5 W não têm um requisito mínimo de fator de potência. No caso de lâmpadas com potência nominal acima de 25 W, o fator de potência deve ser igual ou superior a 0,92, e as correntes harmônicas devem estar dentro dos limites. Além disso, lâmpadas de LED tubulares também devem apresentar fator de potência igual ou superior a 0,92 e cumprir os limites estabelecidos para as correntes harmônicas. Essas diretrizes visam garantir eficiência energética e qualidade das lâmpadas no mercado.

A portaria estabelece que o fluxo luminoso inicial medido não seja inferior a 90% do valor nominal declarado. Além disso, define uma gama específica de temperaturas de cor (2.700 K a 6.500 K)

e exige que as lâmpadas possam reproduzir fielmente as cores reais de objetos em comparação com a luz natural. Quanto à reprodução de cores, o Índice de Reprodução de Cor Geral (Ra), que compreende o Índice de Reprodução de Cores (IRC), deve atender a dois critérios: o valor mínimo de Ra deve ser 80, e o índice R9, que avalia a saturação do vermelho, precisa ser maior que zero. Essas disposições têm como objetivo garantir a qualidade, a eficiência e a precisão das lâmpadas LED, contribuindo para uma iluminação confiável e de alta qualidade.

Tabela 1 – Eficiência mínima

	Potência da lâmpada (W)	Eficiência mínima inicial (lm/W)
Não-direcionais Semi-Direcionais	< 15	55
	≥ 15	60
Direcional	< 20	45
	≥ 20	50
Decorativa	< 15	45
	5 ≤ W ≤ 25	
	≥ 25	

Fonte: Portaria 069/2022

Tabela 2 – Relação eficiência mínima entre lâmpada tubular e LED

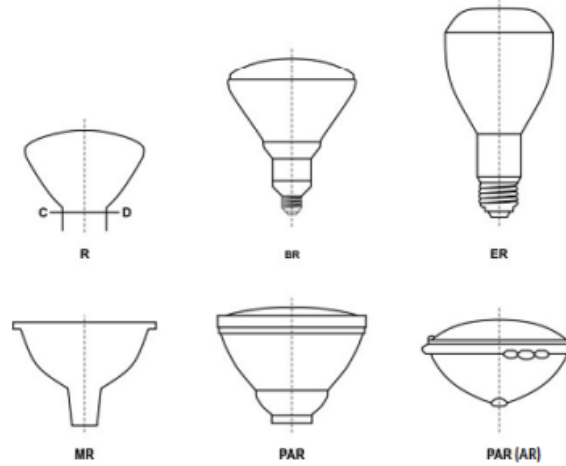
	Comprimento nominal da lâmpada (mm)	Tipo de Base	Eficiência mínima inicial (lm/W)
Lâmpada de LED tubular	550 – 1 150	G5	100
	600 – 2 400	G13	85

Fonte: Portaria 069/2022

A referida portaria também descreve diretrizes para lâmpadas LED com diferentes tipos de distribuição de luz. A equivalência entre modelos LED e tradicionais deve seguir critérios definidos, estabelecidos nas Tabelas 1 e 2 acima. As lâmpadas devem ser classificadas como direcionais, omnidirecionais, semidirecionais ou decorativas. Direcionais (apresentadas na Figura 1) focam 80% do fluxo em um cone de 120°, com desvio máximo de 25% nos ângulos. Omnidirecionais (apresentadas na Figura 2) têm distribuição uniforme de intensidade dentro de 0° a 135°, com restrições específicas. Lâmpadas semidirecionais têm distribuição diferente, sendo equiparadas a omnidirecionais em eficiência. Lâmpadas decorativas (apresentadas na Figura 3) têm bases G4 e G9. Intensidade máxima, ângulo do fecho e manutenção do fluxo também têm critérios específicos. A manutenção do fluxo

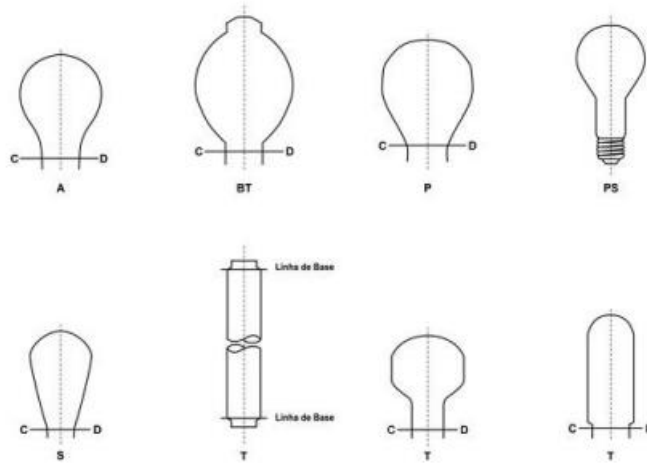
luminoso deve ser de 15.000 horas para lâmpadas decorativas e 25.000 horas para outras. As lâmpadas também devem ser resilientes a variações de temperatura e ligar/desligar.

Figura 1 – Modelos direcionais de lâmpadas



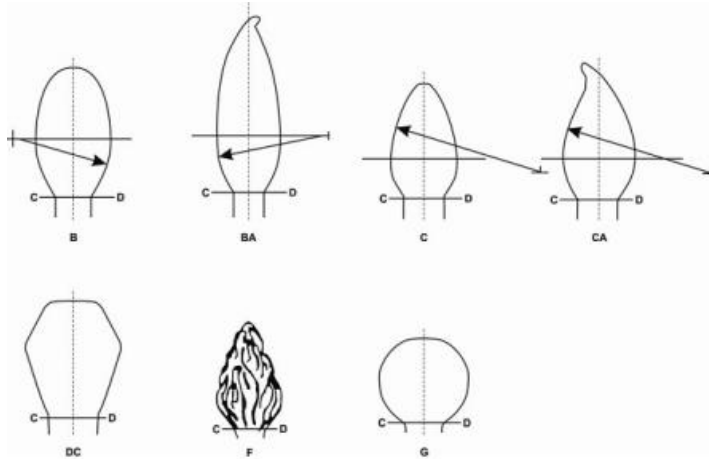
Fonte: Portaria 069/2022

Figura 2 – Modelos não-direcionais de lâmpadas



Fonte: Portaria 069/2022

Figura 3 – Modelos decorativos de lâmpadas



Fonte: Portaria 069/2022

5. TESTES REALIZADOS

Nesta seção estão descritos os experimentos de automação com Arduino para monitorar o desempenho das lâmpadas LED em um contexto de cidades inteligentes, onde a integração tecnológica é fundamental para aprimorar a infraestrutura urbana e promover a sustentabilidade. É apresentada uma série de experimentos destinados a simular situações práticas de uso do Arduino para monitorar lâmpadas LED, incluindo a identificação de falhas e a avaliação de sua durabilidade, com o objetivo de avançar o conhecimento e a aplicação prática dessa tecnologia em benefício das cidades inteligentes e sustentáveis.

Foi montado um conjunto de componentes para os experimentos: um Arduino Mega 2560, um sensor de corrente ACS712, uma fonte de alimentação por bateria, uma lâmpada LED de 12W no formato A (Figura 2), e um relé.

O ACS712, que se baseia no princípio do efeito Hall, é uma peça fundamental em da configuração experimental. Ele foi escolhido especificamente devido à sua capacidade de medir corrente elétrica de maneira não invasiva e precisa funcionalidades de acordo com Demetras (2018).

Por outro lado, o relé desempenha um papel crucial na automação dos experimentos. Sua função é permitir que o Arduino assuma o controle de dispositivos de alta potência, como lâmpadas, motores e outros equipamentos elétricos. Ele age como um interruptor controlado eletronicamente, respondendo a

sinais digitais gerados pelo Arduino. Esta capacidade de controle é vital para nossos experimentos, pois nos permite simular diferentes cenários de operação da lâmpada LED e coletar dados relevantes.

Juntos, o Arduino Mega 2560, o sensor ACS712 e o relé formam a base de nosso sistema experimental, capacitando-nos a investigar aspectos importantes do comportamento da lâmpada LED e da corrente elétrica em nosso ambiente de teste. Essa configuração nos permite realizar experimentos abrangentes que podem contribuir significativamente para nosso entendimento de sistemas de iluminação LED e suas aplicações em automação e monitoramento.

O objetivo desses experimentos é formular sistemas onde o uso de microcontroladores contribua para o monitoramento de sistemas de lâmpadas LED de maneira eficiente. Com isso serão feitos experimentos para compreender a funcionalidade dos materiais utilizados para o cumprimento do objetivo.

Como primeiro experimento foi utilizado o Arduino, o sensor de corrente ACS712, a fonte de bateria e a lâmpada. Ele teve como objetivo compreender o uso do ACS712, além de monitorar a corrente durante o processo.

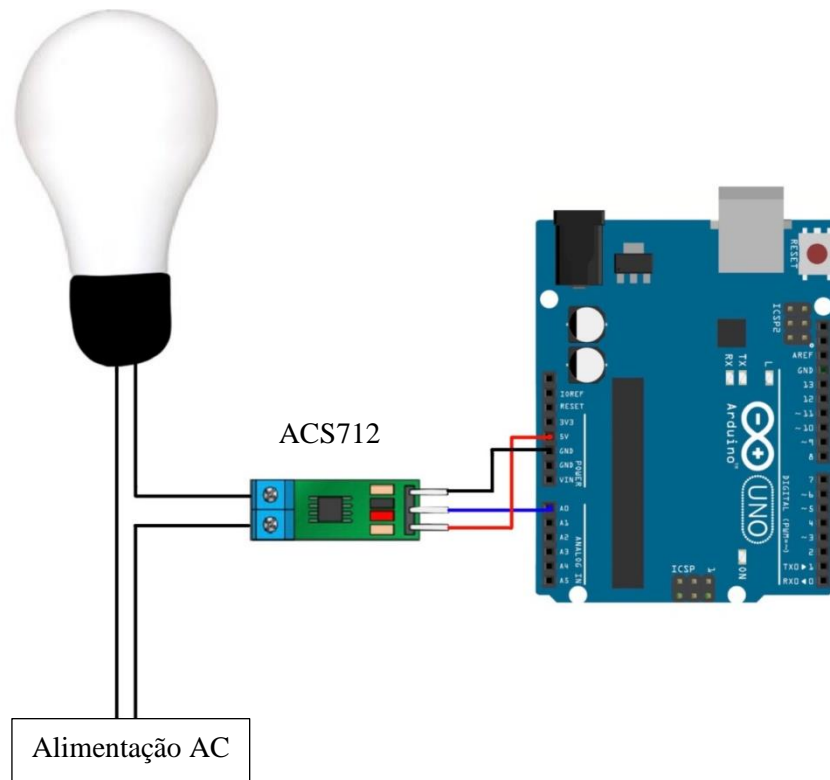
Para realizar a medição da corrente elétrica que passava pelo sistema quando a fonte de bateria estava ligada, desenvolvido para a leitura de entradas analógicas no Arduino ligado conforme a Figura 4. As medições resultantes foram então analisadas por meio do Serial Monitor, uma ferramenta fornecida pelo ambiente de programação do Arduino.

Durante o experimento, foi possível observar que a corrente elétrica estava presente quando a lâmpada estava ligada. No entanto, ao remover a lâmpada (simulando uma lâmpada queimada), a corrente diminuía consideravelmente, atingindo valores próximos a 0 mA, esse residual decorre dos ruídos do módulo. Desse modo, as leituras variavam, em geral, entre 0 mA e 7 mA nessa condição.

Isso demonstra a capacidade do sensor ACS712 em detectar variações na corrente elétrica, o que pode ser útil em diversas aplicações, incluindo a detecção de falhas em sistemas elétricos.

Na segunda etapa do experimento, a introdução do relé adicionou uma camada de controle e monitoramento significativa ao sistema.

Figura 4 – Experimento 1



Fonte: Elaborado por Autora, 2023

No contexto desse experimento, o objetivo era contar quantas vezes a lâmpada foi ligada e desligada pelo relé até que ela finalmente se apagasse, simulando assim o fim da vida útil da lâmpada. O relé era responsável por controlar esse ciclo de ligar e desligar a lâmpada. Isso permite estudar o comportamento da lâmpada antes de sua queima, observando quantas vezes ela pisca e acompanhando as variações de corrente elétrica.

Para rastrear o momento em que a lâmpada queimaria, foi utilizado o sensor de corrente ACS712. Esse sensor desempenhou o mesmo papel que na primeira etapa do experimento, ou seja, medir a corrente elétrica que flui pelo circuito. No entanto, na segunda etapa, as medições de corrente eram usadas de maneira diferente.

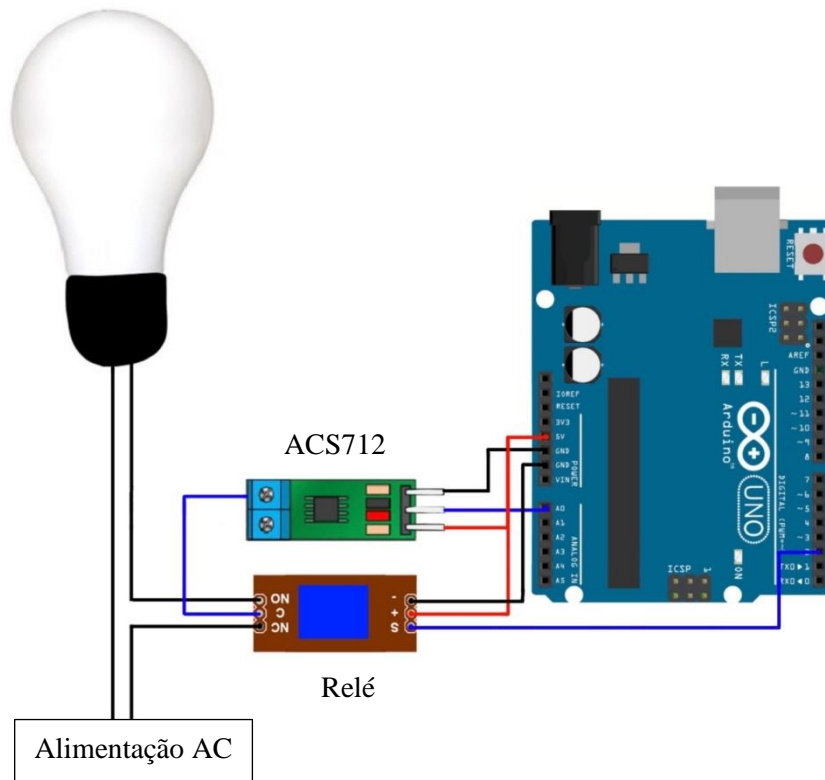
O Arduino analisava constantemente as medições de corrente fornecidas pelo ACS712. A ideia era detectar variações anormais na corrente que poderiam indicar um problema iminente com a lâmpada. Quando a carga (lâmpada) deixa de conduzir os elétrons, é um indicativo que a lâmpada está queimada,

o código interrompia a contagem do relé, registrando assim o número de vezes que a lâmpada piscou antes de seu fim.

Dessa forma, essa parte do experimento não apenas contabilizou o ciclo de ligar/desligar da lâmpada, mas também monitorou as variações de corrente elétrica, fornecendo informações sobre o comportamento da lâmpada como corrente elétrica, tempo de operação e outros parâmetros relevantes. Esse tipo de experimento é útil para entender melhor as características de desgaste e o tempo de vida útil de dispositivos elétricos, como lâmpadas, em condições controladas de laboratório.

O objetivo do uso do relé é simular o desgaste durante a vida útil da lâmpada, sendo que durante o tempo de experimento não foi possível deixar a lâmpada ligada até o final da sua vida útil, que é estipulado em 50.000 horas de acordo com Simões dos Santos et al. (2015).

Figura 5 – Experimento 2



Fonte: Elaborado por Autora, 2023

Os resultados de ambos os experimentos indicaram que os sistemas em desenvolvimento apresentaram um desempenho adequado. No primeiro experimento, foi avaliada a funcionalidade do ACS712, sendo estabelecido como um componente apropriado para atingir o objetivo de automação das lâmpadas. Quanto ao segundo experimento, verificou-se que o acompanhamento e desligamento das lâmpadas por meio da automação controlada pelo relé foram eficazes. Esses achados confirmam a eficácia das soluções propostas para a melhoria da automação da iluminação em ambientes controlados, sendo o primeiro passo para um estudo mais aprofundado no assunto.

Com base nesses experimentos iniciais, abrem-se diversas oportunidades para avançar em direção ao nosso objetivo. Podemos considerar a implementação de uma série de experimentos adicionais, cada um contribuindo para uma compreensão mais completa e aprimorada dos sistemas de iluminação LED e suas aplicações em automação e monitoramento.

Primeiramente, podemos desenvolver um experimento que envolve a criação de um temporizador. Esse temporizador seria capaz de registrar o tempo total de operação da lâmpada LED. Isso é essencial para avaliar a durabilidade da lâmpada ao longo do tempo, fornecendo insights sobre sua vida útil real em condições práticas de uso.

Outra possibilidade é a criação de um sistema de armazenamento de dados. Podemos considerar a coleta e o registro contínuo de informações, como corrente elétrica, tempo de operação e outros parâmetros relevantes. Esses dados podem ser armazenados em um cartão SD localmente ou enviados para um servidor na nuvem, permitindo análises detalhadas e a criação de um histórico de desempenho da lâmpada LED.

Para simular as flutuações na rede elétrica, podemos realizar testes de variação da tensão de alimentação da lâmpada LED. Isso nos permitiria observar como a lâmpada responde a essas variações, avaliando sua robustez e capacidade de manter um desempenho estável sob condições desafiadoras.

O monitoramento da variação de temperatura durante o período em que a lâmpada está ligada é outra área de exploração. Isso nos ajudaria a entender como fatores ambientais, como temperatura, podem afetar o funcionamento da lâmpada LED e sua eficiência energética.

Com base nos dados já coletados, podemos desenvolver um código personalizado que seja capaz de detectar quando as lâmpadas precisam ser substituídas. Isso seria feito com base em indicadores de desgaste e falha, proporcionando uma abordagem proativa para a manutenção do sistema de iluminação.

Por fim, podemos explorar a criação de um sistema de iluminação inteligente. Esse sistema seria capaz de ajustar automaticamente a intensidade da lâmpada LED com base nas condições de luz ambiente. Isso não apenas economizaria energia, mas também prolongaria a vida útil da lâmpada, garantindo um desempenho eficiente e sustentável.

Em resumo, há uma variedade de experimentos e desenvolvimentos futuros possíveis, todos com o objetivo de aprimorar nossa compreensão dos sistemas de iluminação LED e explorar suas aplicações inovadoras em automação e monitoramento. Cada experimento contribuiria para uma visão mais abrangente e informada desses sistemas e suas capacidades.

6. CONCLUSÃO

Em um mundo cada vez mais voltado para a eficiência energética, sustentabilidade e qualidade de vida nas cidades, a integração da tecnologia LED e de microcontroladores emerge como uma solução promissora. Este artigo explorou como essa combinação pode revolucionar a forma como as cidades são iluminadas e monitoradas, abrindo portas para uma nova era de cidades inteligentes e sustentáveis.

As lâmpadas LED, conhecidas por sua eficiência energética e longa vida útil, desempenham um papel fundamental na redução do consumo de energia e na diminuição das emissões de carbono nas áreas urbanas. A adição de microcontroladores, como o Arduino, para um sistema de automação e monitoramento permite um controle dinâmico da iluminação, otimizando ainda mais o uso de energia e melhorando a qualidade da iluminação pública.

Além disso, a capacidade de incorporar sensores de falha nas lâmpadas cria um ambiente urbano mais seguro, reduzindo o tempo de resposta da manutenção e garantindo que as lâmpadas defeituosas sejam substituídas de forma rápida e eficiente.

Os experimentos apresentados neste artigo servem como um ponto de partida para futuras pesquisas e desenvolvimentos. A criação de sistemas de temporização, armazenamento de dados, monitoramento de temperatura e sistemas de iluminação inteligente são apenas algumas das muitas direções possíveis para expandir esse campo.

Os autores agradecem ao CEPIN-CIS e à Direção Geral do IFSP campus Caraguatatuba por conceder a bolsa de pesquisa através do edital CAR 15/2023 que tornou possível a realização deste estudo. Este apoio financeiro foi essencial para a condução das investigações e para o desenvolvimento deste trabalho.

7. BIBLIOGRAFIA

BARBOSA, Jane Roberta de Assis; SÁNCHEZ-GENDRIZ, Ignacio. **Análise de dados aplicada às Cidades Inteligentes: reflexões sobre a região nordeste do Brasil**. Revista Franco-Brasileira de Geografia, v. 49, 2021.

CASTRO, Miguel; JARA, Antonio J.; SKARMETA, Antonio FG. **Smart lighting solutions for smart cities**. In: 2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. IEEE, 2013. p. 1374-1379.

DEMETRAS, Ezequiel. **Módulo ACS712 - medindo corrente elétrica alternada e contínua com arduino**. Vida de Silício, 17 fev. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA-INMETRO. Portaria nº 69, de 16 de fevereiro de 2022. Brasil. **Aprova o regulamento técnico da qualidade e os requisitos de avaliação da conformidade para lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base – consolidado**. [S. l.], 16 fev. 2022.

LAZZARETTI, Kellen; SEHNEM, Simone; BENCKE, Fernando Fantoni; MACHADO, Hilka Pelizza Vier. **Cidades inteligentes: insights e contribuições das pesquisas brasileiras**. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 11, p. 1–16, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.e20190118>.

LOUSADA, Ricardo. **O que é arduino: para que serve, vantagens e como utilizar**. Eletrogate, 10 set. 2020.

MORALES, Débora. **Smart streets: é possível viver a cidade de forma mais inteligente**. Instituto das Cidades Inteligentes, 2021. Disponível em: <https://www.ici.curitiba.org.br/artigo/smart-streets-e-possivel-viver-a-cidade-de-forma-mais-inteligente/196>.

POPA, M.; MARCU, A. **A solution for street lighting in smart cities**. Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering, v. 5, p. 91, 2012.

TAVARES, Pedro et al. **Reviewing the role of outdoor lighting in achieving sustainable development goals**. *Sustainability*, v. 13, n. 22, p. 12657, 2021.

ZIELINSKA-DABKOWSKA, Karolina M. **Healthier and environmentally responsible sustainable cities and communities. A new design framework and planning approach for urban illumination**. *sustainability*, v. 14, n. 21, p. 14525, 2022.

SIMÕES DOS SANTOS, Talía; CARONE BATISTA, Marília; ANDRÉA POZZA, Simone; SAVOI ROSSI, Luciana. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **SciELO**, [S. l.], p. 1-8, 15 out. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040125106>. Acesso em: 23 out. 2023.