



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE DO CAMPUS ARARANGUÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Matheus Akio Santos Ishiguro

**Desenvolvimento de um Sistema de Controle para Integração da Iluminação
Natural e Artificial com Recursos de IoT**

Araranguá
2021

Matheus Akio Santos Ishiguro

**Desenvolvimento de um Sistema de Controle para Integração da Iluminação
Natural e Artificial com Recursos de IoT**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Computação do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde do Campus Araranguá da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. César Cataldo Scharlau

Araranguá

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ishiguro, Matheus Akio Santos
Desenvolvimento de um Sistema de Controle para
Integração da Iluminação Natural e Artificial com Recursos
de IoT / Matheus Akio Santos Ishiguro ; orientador, Cesar
Cataldo Scharlau, 2021.
29 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Computação, Araranguá, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Computação. 2. Internet das Coisas. 3.
Sistema de controle de iluminação . 4. Computação em nuvem..
I. Scharlau, Cesar Cataldo . II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Computação. III.
Título.

Matheus Akio Santos Ishiguro

Desenvolvimento de um Sistema de Controle para Integração da Iluminação Natural e Artificial com Recursos de IoT

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Computação e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Computação.

Araranguá, 19 de maio de 2021.



Documento assinado digitalmente
Fabrício de Oliveira Ourique
Data: 21/05/2021 15:47:01-0300
CPF: 916.167.860-00
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Fabrício De Oliveira Ourique, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Cesar Cataldo Scharlau
Data: 21/05/2021 20:23:37-0300
CPF: 926.997.660-20
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. César Cataldo Scharlau

Orientador



Documento assinado digitalmente
Analucia Schiaffino Morales
Data: 21/05/2021 19:08:30-0300
CPF: 622.256.420-87
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^ª. Analúcia Schiaffino Morales, Dr^ª.
Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Katia Cilene Rodrigues Madruga
Data: 21/05/2021 16:48:41-0300
CPF: 553.612.180-49
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^ª. Kátia Cilene Rodrigues Madruga, Dr^ª.
Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Jim Lau, Dr.
Avaliador Suplente
Universidade Federal de Santa Catarina

Desenvolvimento de um Sistema de Controle para Integração da Iluminação Natural e Artificial com Recursos de IoT

Development of a Control System to Integrate Natural and Artificial Lighting with IoT Resources

Matheus Akio Santos Ishiguro * Cesar Cataldo Scharlau †

Maio, 2021

Resumo

O consumo de energia no mundo vem crescendo nos últimos anos, implicando fortemente na utilização de fontes não renováveis. A utilização deste recurso não renovável, que representa cerca de 75% da matriz elétrica mundial, está diretamente ligada a fatores que impactam na sustentabilidade do planeta. Tendo em vista que a iluminação de ambientes é um dos grandes responsáveis por este consumo, representando cerca de 22% do consumo de energia no setor comercial e 14% no setor residencial no Brasil, buscam-se alternativas que auxiliem na redução deste gasto sem que o desempenho da iluminação seja prejudicado. Nesse contexto, o trabalho em questão apresenta o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo, que tem por objetivo automatizar e controlar a quantidade luz presente em um ambiente, que utiliza tanto a a iluminação natural quanto a iluminação artificial, para realizar a redução no consumo de energia elétrica. A automação apresentada contará com a utilização de um dispositivo microcontrolado, conceitos de internet das coisas (IoT), técnicas de controle e a criação de uma plataforma *web* possibilitando o controle, monitoramento e análise dos dados. Com este trabalho, realizou-se a análise do protótipo desenvolvido para verificar a efetividade das técnicas utilizadas para redução da energia. Foram analisados três cenários utilizando o controle PID (Proporcional, Integral e Derivativo), nos quais foram adotados os valores de referência de 300, 500 e 750 lx, como valores de entrada no sistema. Os resultados obtidos nos testes foram comparados com o cenário sem a utilização do controle PID, o que resultou em uma redução média de potência consumida de 95,56%, 84,14% e 69,51% nos cenários testados. Esses resultados demonstram a viabilidade de utilizar o controle PID juntamente com recursos de IoT para a redução do consumo de energia com iluminação no ambiente proposto, conforme o esperado.

Palavras-chaves: Internet das Coisas, sistema de controle de iluminação e computação em nuvem.

*akio.santos@grad.ufsc.br

†cesar.scharlau@ufsc.br

Desenvolvimento de um Sistema de Controle para Integração da Iluminação Natural e Artificial com Recursos de IoT

Development of a Control System to Integrate Natural and Artificial Lighting with IoT Resources

Matheus Akio Santos Ishiguro * Cesar Cataldo Scharlau †

Maio, 2021

Abstract

The consumption of energy in the world has been growing in recent years, strongly implying the use of non-renewable sources. The use of this non-renewable resource, which represents about 75% of the world's electrical matrix, is directly linked to factors that impact the planet's sustainability. Bearing in mind that ambient lighting is a major contributor to this consumption, representing about 22% of energy consumption in the commercial sector and 14% in the residential sector in Brazil, alternatives are sought to help reduce this expense without impairing lighting performance. In this context, this work presents the development of a low-cost prototype, which aims to automate and control the amount of light in a room using both natural and artificial lighting to reduce electricity consumption. The automation presented will include the use of a microcontroller device, Internet of Things (IoT) concepts, control techniques and the development of a web platform allowing the control, monitoring and analysis of data. In order to verify the effectiveness of the techniques used to reduce energy, an analysis of the prototype developed was carried out. Three scenarios were analyzed using the PID (Proportional, Integral and Derivative) controller, where the reference values of 300, 500 and 750 lx were adopted. The results obtained in the tests were compared with the scenario without using the PID control, which resulted in an average power reduction of 95.56%, 84.14% and 69.51%. As expected, these results demonstrate the feasibility of using the PID control together with the IoT resources to reduce lightning energy consumption in the proposed room.

Key-words: Internet of Things, lighting control system and cloud computing.

*akio.santos@grad.ufsc.br

†cesar.scharlau@ufsc.br

1 Introdução

Com o crescimento populacional e tecnológico, o consumo de energia elétrica vem crescendo de maneira exponencial nos últimos anos. Esse aumento implica na utilização de fontes não renováveis, como petróleo, carvão mineral, gás natural e nuclear para a geração de energia. Atualmente, a energia proveniente destas fontes representa cerca de 75% da matriz elétrica mundial e estão diretamente ligadas a emissões de gases do efeito estufa e de outras variáveis que interferem na sustentabilidade do planeta (EPE, 2021).

Apesar da grande utilização de fontes não renováveis no mundo, 25% de energia gerada é derivada de fontes renováveis. Para essas fontes, os recursos se renovam após a sua utilização, cujos exemplos são as fontes hídricas, solar, biomassa, geotérmica, oceânica e hidrogênio. No Brasil, devido à forte utilização da fonte hídrica, cerca de 83% da matriz elétrica provém de fontes renováveis (EPE, 2021).

A utilização de energia renovável na matriz energética atenua parcialmente os efeitos do consumo excessivo de energia. Porém, é necessário buscar outras formas de amenizar os impactos causados por esse consumo. Analisando o gasto de energia no país, cerca de 46,7% da energia é utilizada por edifícios públicos, comerciais e residenciais. A iluminação se destaca dentre o consumo desses setores, representando 22% do gasto de energia no setor comercial e 14% no setor residencial (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Esses percentuais sofrem interferência direta das políticas governamentais de países que incentivam a racionalização do consumo de energia (IEA, 2020).

Outro fator que influencia diretamente no consumo é a evolução da tecnologia (IEA, 2020). A partir do controle e monitoração utilizando novos componentes inteligentes, sensores e atuadores, é possível obter dados que auxiliam na análise do consumo de energia. Francis (2019) apresenta em seu estudo a utilização de um sistema capaz de controlar os níveis de iluminação de maneira automática, utilizando um controlador. Com isso, foi possível integrar a iluminação artificial e natural e contribuir com a eficiência e redução do consumo de energia. Para o caso estudado, o autor conclui que o projeto implantado possibilita uma redução de 88,22% do uso de energia. Esse resultado foi obtido comparando os dados de potência de dois cenários, (i) uma sala de aula dividida em duas regiões, cada uma com um sistema composto por sensor e controlador Proporcional, Integral e Derivativo (PID), e (ii) um sistema que utiliza a potência máxima de energia para realizar a iluminação de ambientes.

Os componentes inteligentes, como sensores, atuadores, e diversos outros dispositivos comumente empregados atualmente, utilizam redes de comunicação que os conectam. Essas redes são sistemas computacionais responsáveis por processar e disponibilizar os dados que os dispositivos transmitem e recebem (OLIVEIRA et al., 2016). Szalai et al. (2016) afirma que a utilização conjunta de sistemas eletrônicos com a internet fornece novas qualidades e funcionalidades através da integração de suas funções. O que corrobora com o citado em Andrade (2018), no qual é destacada a redução de custos de sistemas eletrônicos em geral, juntamente com a crescente capacidade de comunicação desses sistemas via internet. O autor destaca que isso incentiva o desenvolvimento de soluções para automação residencial conectadas à internet.

Assim, tem-se o conceito de internet das coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) a qual é a tecnologia que permite que, por meio de redes e dispositivos de computação identificáveis incorporados a outras interfaces, obtenha-se a captura de dados do ambiente que foram expostos (CHAUDHURI, 2018). Em Kamienski et al. (2015), é abordado um

protótipo de desenvolvimento de IoT para eficiência energética em edifícios inteligentes. No referido estudo, os autores utilizaram uma sala de aula universitária na qual a temperatura e a iluminação foram controladas automaticamente. O estudo apresenta o uso de um protocolo de comunicação para realizar a troca de mensagens entre o modelo e o protótipo desenvolvido. O trabalho concluiu que o protótipo apresentou uma resposta muito rápida, possibilitando alterações de temperatura e iluminação no sistema de forma automatizada, conforme o esperado.

Neste contexto, o presente trabalho apresentará a implementação de um sistema IoT de baixo custo, desenvolvido para realizar o controle de iluminação de um ambiente. O protótipo proposto utiliza-se de técnicas de controle, que visam regular os níveis de iluminância do local, permitindo a integração da iluminação artificial e natural. O protótipo apresentado emprega uma comunicação direta com os serviços da *Amazon Web Service* (AWS), possibilitando a conexão entre um dispositivo microcontrolado e a nuvem, além de permitir o armazenamento das informações coletadas em um banco de dados. O sistema conta com uma interface *web*, permitindo o controle do sistema e apresentando os dados coletados ao usuário. Os resultados experimentais demonstraram a funcionalidade e a facilidade na utilização do sistema.

O trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 serão apresentados os trabalhos correlatos pertinentes aos temas de IoT e controladores. A seção 3 aborda a fundamentação teórica, descrevendo os principais conceitos utilizados. Na seção 4 são vistas a metodologia e o desenvolvimento do projeto. Os resultados experimentais serão apresentados na seção 5. Por fim, na seção 6 são apresentadas as conclusões, discussões finais e trabalhos futuros.

2 Trabalhos Correlatos

A revisão de literatura demonstra que a utilização da tecnologia pode ser aplicada para reduzir o consumo elétrico de diversos ambientes. De forma geral, os métodos (i) IoT e (ii) controle de sistemas podem ser identificados na literatura como meios de realizar este processo. Dentre o domínio IoT, é possível notar diversas aplicações voltadas à automação de processos, que buscam sua implementação por meio de dispositivos microcontrolados, atuadores e sensores. De forma semelhante, encontrou-se trabalhos e artigos que enfatizam o uso de estratégias de controle e suas principais vantagens quando aplicadas em um sistema.

Em [Morgado \(2008\)](#), é demonstrado como a utilização de um controlador lógico programável (CLP) pode auxiliar na monitoração da temperatura em um ambiente. A realização do desenvolvimento proposto consistiu na utilização de um ar condicionado, utilizado para regular a temperatura ambiente do local. Através dos resultados coletados pelo autor, conclui-se que a utilização do sistema possibilita uma economia significativa no consumo de energia.

[Silva \(2018\)](#), descreve em seu trabalho a utilização de um controlador PID. A proposta apresentada baseia-se no controle de temperatura de uma resistência elétrica na qual a presença de isolantes térmicos é inexistente. Após a implementação e coleta de dados, a autora demonstra que a implementação de seu protótipo traz uma agradável estabilização do sistema desenvolvido, constatando a importância e relevância do controlador PID.

De maneira semelhante, em [Francis \(2019\)](#) também há a utilização de um controlador PID para realizar a monitoração e o controle dos níveis de iluminância dentro

de um ambiente em escala. Foram inseridos neste ambiente um conjunto de sensores em três cenários. O primeiro cenário é determinado com uma área abrangendo toda a sala, onde obtém-se o valor de iluminância a partir da média aritmética dos quatro sensores. O segundo cenário divide a sala em duas partes, onde os sensores mais próximos da janela formam uma área e os mais afastados da janela uma outra, sendo um controlador para cada área. Para ambas as áreas é realizada a média dos sensores para obter um valor para cada área. O terceiro cenário é determinado com quatro áreas, onde cada sensor representa uma área independente. Os resultados obtidos demonstram uma redução do uso de potência nos três cenários utilizados, sendo de 75,76% para o cenário de uma área, 78,65% para o cenário de quatro áreas e 88,22% para o cenário de duas áreas.

Santos e Junior (2019) trazem a proposta do desenvolvimento de um protótipo de IoT para realização de automação residencial de baixo custo, focada nos principais acionamentos eletrônicos de uma residência e permitindo sua monitoração através de um dispositivo móvel. Embora o sistema proposto fosse focado em uma moradia, a implementação realizada deu-se através de um modelo em pequena escala, permitindo testes de funcionalidades e geração de resultados. A partir dos resultados, conclui-se que a instalação do sistema utilizando um microcontrolador ESP32 é viável no ponto de vista econômico e funcional, visto a quantidade de recursos fornecido pelo mesmo.

Soliman et al. (2013) apresentam a integração de IoT com computação em nuvem. A aplicação foi focada em aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), para demonstrar serviços de medição das condições domiciliares (monitoramento domiciliar). Os autores concluem que o método obteve sucesso, e salientam que a adoção da infraestrutura utilizada pode ser adaptada a outras aplicações.

Em Andrade (2018) há a utilização de IoT para criação de um adaptador de tomada inteligente, permitindo que o usuário possa acionar e desligar seus aparelhos através de uma plataforma *web*. O sistema proposto é capaz de obter os dados referentes ao consumo da energia elétrica utilizada pelos dispositivos conectados e armazená-los em um banco de dados. Nesse trabalho, é utilizada a plataforma da AWS, a base de dados *DynamoDB* e a *AWS IoT* para comunicação entre o *hardware* e o sistema em nuvem. Assim, destaca-se que os resultados encontrados pelo autor demonstram que a implementação do sistema pode trazer uma economia de energia, tornando viável sua implementação por meio de componentes de baixo custo.

Tendo em vista os estudos apresentados anteriormente, percebe-se que a utilização de uma estratégia de controle pode gerar ganhos significativos no desempenho e na eficiência energética de um sistema. Além disso, o desenvolvimento de um sistema de IoT pode ser integrado com um sistema em nuvem, o que possibilita a coleta de dados e, conseqüentemente, a geração de análises mais precisas.

3 Fundamentação Teórica

3.1 Internet das Coisas

Apesar das primeiras pesquisas-chaves de IoT surgirem por volta de 2010, o termo introduzido por Kevin Ashton surgiu pela primeira vez em 1999 (ALAM et al., 2017). Essa designação consiste em diversas aplicações tecnológicas que se baseiam em uma estrutura que permite que um grande número de dispositivos se conectem e troquem informações entre si, via rede (NOLAN; GUIBENE; KELLY, 2016).

Das inúmeras aplicações para a IoT, destaca-se o desenvolvimento de serviços de coleta e comunicação de dados em um determinado local. Essa funcionalidade pode ser aplicada em áreas como, por exemplo, saúde, transporte, educação, segurança, e também para ambientes como escritórios e domicílios (KHAN et al., 2012).

A IoT é conceituada pela capacidade de coletar, processar e compartilhar dados de objetos, munida de sensores, controladores, circuitos eletrônicos e *softwares* conectados à rede. Dentre as diversas aplicações, essa ferramenta pode ser utilizada para o fortalecimento de sistemas, a fim de criar um grande sistema distribuído, autônomo e cooperativo (JR; RIBEIRO; JR, 2019). Ainda de acordo com Jr, Ribeiro e Jr (2019), o uso de serviços em geral, voltados a IoT, alinhando ao conceito de automação (industrial ou residencial), pode proporcionar aos usuários desse sistema inúmeras vantagens como, por exemplo, maior conforto, melhorias na usabilidade, maior poder de controle e monitoração do sistema, mesmo a grandes distâncias.

3.2 Dispositivos Microcontrolados

Microcontroladores são equipamentos programáveis de pequeno porte e de baixo custo. Usualmente, estes dispositivos são compostos por uma unidade processadora, memórias, entradas, saídas, controle temporal e conversores analógicos digitais (AD). A principal função de um microcontrolador é efetuar ações de controle, remotamente, em sistemas embarcados (SANTOS; JUNIOR, 2019).

Devido a sua característica integradora, os dispositivos microcontrolados vêm se tornando cada vez mais práticos nas execuções de funções simples e complexas. Dentre essas funções, destacam-se a automação e/ou automatização de rotinas diárias, leitura de sensores, entre outras. Toda essa integração se deve a sua conectividade entre aparelhos, internet e componentes eletrônicos, que acabam sendo fundamental para as mais diversas aplicações (SANTOS; JUNIOR, 2019).

Dentre algumas opções de dispositivos microcontrolados, podem-se citar diferentes placas de desenvolvimento como, por exemplo, ESP32, ESP8266, Arduino Uno e Raspberry Pi (BACK, 2019). Para o presente trabalho, foi utilizado o microcontrolador ESP32, devido ao seu baixo custo, poder de processamento e conectividade integrada com a internet através de um módulo *Wi-Fi*.

3.3 Protocolos de Comunicação

Uma comunicação pode-se ser descrita como a troca de uma informação entre duas ou mais entidades. Esta comunicação deve acontecer por meio de um canal, possuindo uma origem e um destino. Dentro do universo de rede de computadores, a origem e o destino de um canal são os equipamentos eletrônicos capazes de se comunicarem através da internet (PEDROZO, 2014). A realização de troca de informações entre computadores em uma rede deve possuir um conjunto de regras adotados por ambos os lados, possibilitando a comunicação entre si. Este conjunto de regras é denominado de Protocolo de Comunicação (KUROSE; ROSS, 2013).

Os protocolos de comunicação são utilizados para realizar a troca de dados entre dois ou mais dispositivos, emitindo regras e diretrizes que devem ser seguidas por todos os dispositivos que desejam se comunicar com o emissor da mensagem (COMER, 2001). Assim como pode-se ter um conjunto de regras, também pode-se ter um conjunto de protocolos, como é o caso do Protocolo de Controle de Transmissão (TCP) e Protocolo de

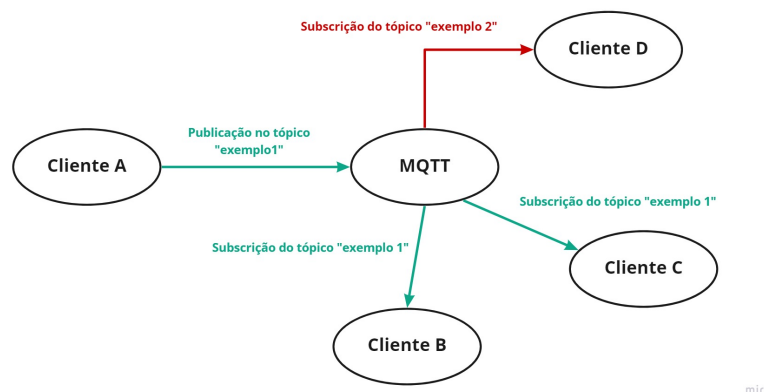
Interconexão (IP) que, juntos, formam o protocolo de comunicação TCP/IP. Este protocolo é internacionalmente utilizado como padrão para a realização de transferência de dados, *e-mail* e *web pages* através da internet (LUVIZOTO, 2010).

De acordo com Luvizoto (2010), além de ser muito utilizado, o modelo do TCP/IP é tido como referência para a criação de outros protocolos. Segundo Chen e Lin (2014), o protocolo de transporte de telemetria de enfileiramento de mensagens (MQTT, do inglês *Message Queuing Telemetry Transport*) é um dos modelos que baseiam-se no TCP/IP, tornando possível a troca de dados entre clientes. Embora a troca de mensagem possa existir, o MQTT trabalha com a ideia de publicação, subscrição e intermediação. Este intermediador trabalha de forma a autorizar as subscrições e publicações em um determinado canal, além de receber e distribuir as mensagens para seus respectivos destinatários, mantendo sempre uma segurança e integridade do protocolo (AL-FUQAHA et al., 2015).

Este protocolo de comunicação é muito utilizado, principalmente em soluções de IoT, visto a facilidade de roteamento de mensagens fornecida, sem a exigência de grandes processamentos, podendo ser executado em dispositivos de baixa memória e que não consomem muita energia (AL-FUQAHA et al., 2015).

Na Figura 1 ilustra-se a comunicação do protocolo MQTT, onde o “Cliente A” realiza a publicação de uma determinada mensagem no tópico “exemplo 1” que passa por um intermediador “MQTT”. Através deste intermediador, a mensagem pode ser distribuída para os consumidores “Cliente B” e “Cliente C”, que realizam a assinatura deste mesmo tópico. Por outro lado, pode-se observar que, apesar do “Cliente D” estar conectado ao protocolo MQTT, o mesmo não irá receber a mensagem, visto que sua subscrição é realizada junto ao tópico “exemplo 2”.

Figura 1 – Exemplificação do protocolo MQTT



Fonte: Autor

Para o presente trabalho, utilizou-se do protocolo MQTT, para realizar a integração entre o dispositivo microcontrolado e a internet, permitindo a troca de informações entre si.

3.4 Controlador

Segundo Nise (2012), um sistema de controle é responsável por realizar ações que sejam capazes de adquirir uma saída desejada, através de uma determinada entrada.

Geralmente, os modelos que utilizam deste componente possuem variáveis de posição, velocidade, tensão, corrente, entre outros.

Embora existam diversos casos onde pode-se implementar um controlador, há duas configurações principais em um sistema de controle, sendo elas (i) malha aberta e (ii) malha fechada. Um sistema em malha aberta é comandado apenas pelo sinal de entrada, excluindo qualquer influência do sinal de saída no controle do sistema. Esse sistema não exerce qualquer correção às possíveis perturbações que podem acontecer (OGATA, 2010).

Já sistemas de malha fechada, possuem uma influência direta do sinal de saída devido a realimentação encontrada em sua arquitetura. Através dessa realimentação, o sistema busca minimizar erros, que correspondem a diferença entre o valor do sinal de saída e o valor de referência. Esse sistema busca o valor de saída igual ou próximo do valor de referência pré-determinado pelo usuário (OGATA, 2010).

Existem diversas topologias de controladores em malha fechada. Dentre as quais, é possível citar o controlador PID, que é utilizado em grande escala de aplicações industriais. As ações de controle proporcional (P), integral (I) e derivativa (D) são aplicadas a boa parte dos processos devido a sua simplicidade e robustez (ASTROM, 1995). Atualmente, as aplicações PID são baseadas em projetos digitais, favorecendo a aplicação de algoritmos para melhor desempenho (ALMEIDA, 2002).

O controle PID pode ser expresso no domínio do tempo, como demonstrado na Equação (1), na qual $u(t)$ representa a saída do controlador, $e(t)$ o sinal de erro (a referência menos o valor da variável que será controlada), Kp , Ki e Kd são valores constantes relacionados com as ações de controle proporcional, integral e derivativa (BEZERRA, 2007).

$$u(t) = Kp.e(t) + Ki \int_0^t e(\tau) d\tau + Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

3.5 Computação em Nuvem

O uso de computação em nuvem vem crescendo muito nos últimos anos, fazendo com que muitas empresas implementem em sua infraestrutura. Este fato está bastante ligado a quantidade de serviços fornecidos por este tipo de solução. Outro grande fator que auxilia no uso deste recurso é o preço, que atrelado às funcionalidades disponíveis, acaba implicando na eliminação de grandes recursos voltados a super computadores dentro de uma única empresa, além da segurança e escalabilidade fornecida que auxiliam nesta decisão (KUSHIDA; PINGALI, 2014). Segundo o site Group (2021), empresas como Google, Microsoft e Amazon lideram o *ranking* de organizações que fornecem os serviços em nuvem. Dentre estas empresas, destaca-se a Amazon AWS, que está no topo do *ranking*.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, utilizou-se a plataforma da AWS para realização da integração entre o protótipo desenvolvido e a plataforma em nuvem. Dentre os serviços oferecidos pela plataforma, foram empregados os seguintes módulos: AWS *Lambda*, Amazon *DynamoDB*, AWS *IoT Core*, Amazon Interface de Programação de Aplicação Gateway (API Gateway, do inglês *Application Programming Interface Gateway*) e o gerenciamento de identidade e acesso (IAM, do inglês *Identity and Access Management*). Os serviços oferecidos pela AWS são gratuitos até certo limite. No presente trabalho focou-se no uso dos recursos gratuitos fornecidos pela plataforma. Destaca-se ainda que o limite gratuito fornecido é diferente para cada serviço.

3.5.1 AWS Lambda

O *Lambda* é um serviço da AWS que permite ao usuário executar um determinado código, sem a necessidade de configurar nenhum tipo de servidor. Este serviço ainda permite que o programa seja executado apenas quando invocado por outro sistema, sendo necessária sua integração a outro módulo (AMAZON, 2021c).

Outra característica muito importante a ser destacada é a escalabilidade deste serviço, fazendo com que milhões de dados sejam processados por segundo, caso necessário. Entretanto, vale ressaltar que o custo deste recurso é proporcional ao seu uso, ou seja, quanto maior o número de invocações, maior o valor a ser pago. Embora o usuário acabe pagando para a utilização do sistema, a AWS permite que desenvolvedores testem e executem suas aplicações de maneira gratuita, fornecendo 1 milhão de invocações grátis por mês (AMAZON, 2021c).

3.5.2 Amazon DynamoDB

O Amazon *DynamoDB* é um banco de dados que não utiliza o esquema de linhas e colunas. Neste caso, os dados são armazenados no esquema chave valor, fazendo com que os valores estejam ligados a uma chave. Além disso, assim como o *Lambda*, o *DynamoDB* dispensa qualquer instalação ou configuração. O banco fornece uma escalabilidade integrada, permitindo que diversas aplicações leiam e gravem dados ao mesmo tempo, além de permitir que seus usuários criem diversas tabelas, podendo segregar os dados, caso necessário (AMAZON, 2021b).

De acordo com a documentação da AWS, o custo do *DynamoDB* é dividido em duas categorias, sendo elas: (i) capacidade sob demanda, onde o usuário paga por leitura e escrita no banco de dados, (ii) capacidade provisionada, onde o usuário especifica o número de leitura e gravações por segundo que espera receber. Apesar dos dois métodos existirem, a AWS também permite que o usuário tenha liberdade para criar e utilizar seus bancos de dados de maneira gratuita, liberando um armazenamento de 25 GB e 200 milhões de requisições, sendo elas para leitura e escrita (AMAZON, 2021b).

3.5.3 Amazon API Gateway

O Amazon *API Gateway* auxilia aos usuários a criar, monitorar e gerenciar APIs de transferência representacional de estado (REST, do inglês *Representational state transfer*). Geralmente este módulo é utilizado como porta da frente de muitas aplicações, possibilitando a chamada de funções *Lambda*, por exemplo (AMAZON, 2021a).

Assim como o *Lambda* e o *DynamoDB*, o *API Gateway* também pode ser escalado de maneira automática, caso necessário, além de possuir um nível de uso gratuito, fornecendo ao usuário 1 milhão de requisições por mês (AMAZON, 2021a).

3.5.4 AWS IoT Core

O AWS *IoT Core* permite a conexão entre dispositivos microcontroláveis ao serviço de nuvem da AWS, possibilitando a troca de mensagens entre si. Toda essa comunicação acontece através do protocolo de comunicação MQTT, o que possibilita o roteamento de inúmeras mensagens através de um determinado canal (AMAZON, 2021e).

Além disso, o AWS IoT permite a comunicação entre outros serviços da AWS, tais como *Lambda*, *DynamoDB* e *API Gateway*. Assim, o usuário pode realizar a integração

do seu microcontrolador a serviços *web* de forma fácil e barata, visto que o preço para utilização deste serviço é de 1,00 dólar para cada milhão de mensagens enviadas. Esse serviço possibilita também o uso gratuito, caso o usuário não ultrapasse o valor de 1 milhão de mensagens por mês (AMAZON, 2021e).

3.5.5 IAM

O *IAM* é um serviço focado na segurança dos recursos da AWS, permitindo a comunicação e acesso entre módulos. Todavia, este acesso é apenas concedido para usuários previamente autorizados e a serviços com as devidas permissões. Assim, faz-se necessário que o usuário principal da conta libere os determinados acessos que deseja utilizar antes de iniciar a utilização dos módulos (AMAZON, 2021d).

Para o presente trabalho, utilizou-se das configurações de acesso total entre os módulos, liberando todo e qualquer serviços da AWS para realizar todas as operações necessárias.

4 Metodologia e Desenvolvimento

Nesta seção será apresentada a metodologia utilizada para o projeto, implementação, análise e desenvolvimento do protótipo. Inicialmente serão descritas as análises preliminares realizadas. Na sequência, serão apresentadas as etapas do desenvolvimento, com destaque para os principais métodos utilizados.

4.1 Revisão da Literatura

Com base na análise da literatura realizada, principalmente em artigos e em trabalhos de conclusão de cursos, definiu-se os componentes eletrônicos e microcontrolador a serem utilizados no presente trabalho. Além disso, as pesquisas executadas auxiliaram na busca de referências sobre IoT, utilização dos módulos da AWS e sistemas controladores.

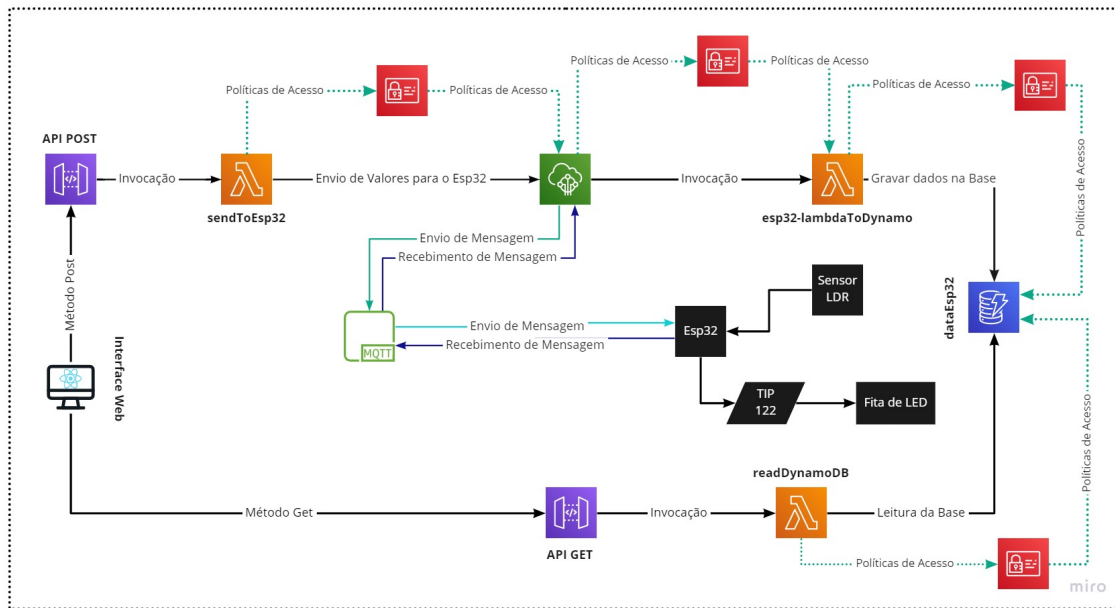
4.2 Desenvolvimento do Protótipo

A partir da análise dos resultados obtidos na revisão de literatura, foram estabelecidas as etapas de projeto e implementação do protótipo. Inicialmente, foram consideradas duas premissas, a fim de esquematizar o desenvolvimento do trabalho: (i) a criação de uma arquitetura do sistema e (ii) a utilização de um modelo em pequena escala para verificação e testes experimentais.

A arquitetura proposta para o sistema é representada na Figura 2, onde é apresentado o esquema utilizado para a solução do *hardware* sugerido. Nessa figura, também pode ser vista a estratégia aplicada para resolver as integrações entre a plataforma da AWS, o protótipo criado e aplicação *web*. Algumas dessas partes serão detalhadas na seção 4.2.2.

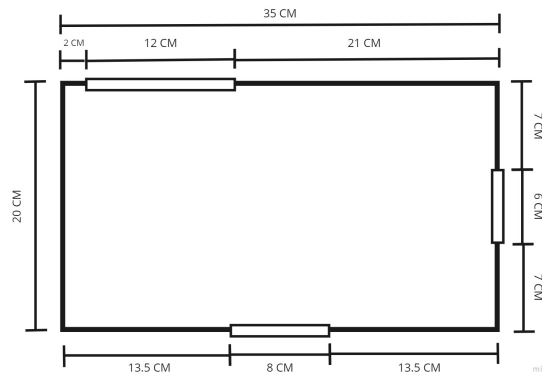
A utilização de um modelo em escala se dá por meio da representação de um escritório em maquete. Para fins de testes e aplicabilidade, utilizou-se de uma representação em escala de 1:5, possibilitando a obtenção de dados e a realização de testes para o presente trabalho. Na Figura 3 observam-se as dimensões utilizadas no modelo. Ainda com o intuito de aumentar a refletância e melhorar a distribuição de iluminâncias no ambiente, pintou-se as paredes do modelo da cor branca. Além disso, foram colocadas aberturas nas laterais, representando janelas e portas.

Figura 2 – Arquitetura proposta para o desenvolvimento do protótipo



Fonte: Autor

Figura 3 – Planta do escritório em escala



Fonte: Autor

Para apresentar o desenvolvimento do trabalho, dividiu-se o mesmo em duas subseções: *hardware*, envolvendo os periféricos e componentes eletrônicos utilizados, e *softwares*, incluindo as linguagens de programação, ambientes, protocolos, entre outros assuntos.

4.2.1 Hardware

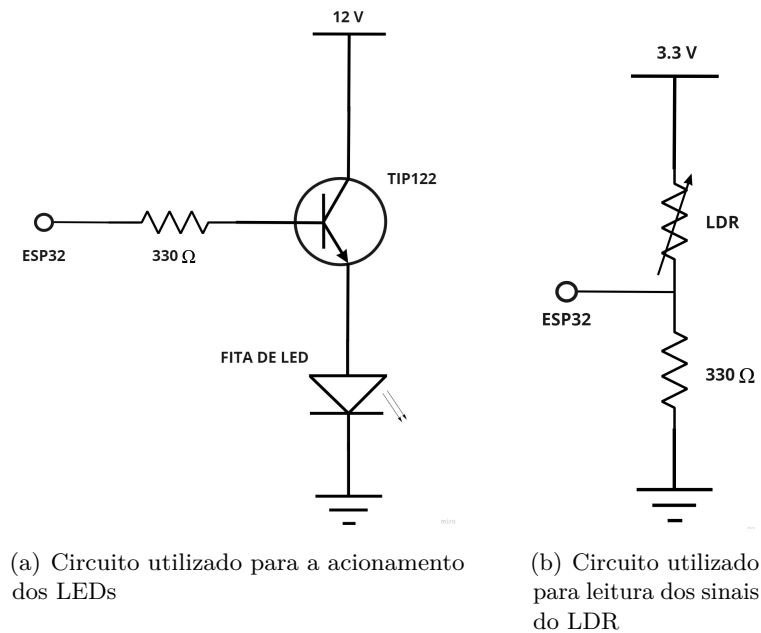
Com a finalidade de trabalhar com IoT, foi escolhido o microcontrolador ESP32 para ser utilizado como base do sistema, permitindo a leitura dos sensores utilizados e o acionamento da iluminação artificial. A escolha deste dispositivo deu-se pela presença de dois núcleos de 240 MHz em seu interior, permitindo obter uma alta velocidade de processamento, e principalmente por sua conectividade com a internet sem a utilização de

outros periféricos (ESPRESSIF, 2021).

Além do microcontrolador, escolheram-se outros periféricos. Dentre eles, os sensores de iluminância, compostos de resistores dependentes da luz (LDR, do inglês *Light-Dependent Resistor*) de 5 milímetros. Este sensor é capaz de variar sua resistência de acordo com a intensidade de luz incidente presente no local (JAIR; JUNIOR; STEVAN, 2013). A tensão de saída deste sensor será lida através de uma entrada analógica do ESP32. Utilizou-se também uma fita de diodo emissora de luz (LED, do inglês *Light Emitting Diode*) com três cores, sendo elas: vermelha, verde e azul (RGB, do inglês *red, green and blue*), distribuindo um metro de fita ao longo do modelo em escala. Apesar dos LEDs possuírem diversas possibilidades de cores, utilizou-se apenas a cor branca. A escolha da fita de LED foi devido a sua possibilidade de dimerização, permitindo controlar a quantidade de luz a ser emitida. Vale ressaltar que a corrente nominal necessária para seu acionamento é igual a 1 *Ampere* e sua tensão igual a 12 *Volts*, resultando assim em uma potência máxima de 12 *Watts*.

Para controlar o nível de luminância da fita de LED, optou-se por realizar o acionamento de um transistor do tipo NPN (TIP 122) através da saída de modulação por largura de pulso (PWM, do inglês *Pulse-Width Modulation*) do ESP32. Nas Figuras 4a e 4b são demonstrados os circuitos utilizados para acionamento dos LEDs através do ESP32, além do circuito utilizado para a aquisição dos sinais através do sensor de iluminância LDR.

Figura 4 – Circuitos elétricos utilizados para o desenvolvimento do protótipo



Fonte: Autor

4.2.2 Software

Durante o desenvolvimento do *software* do protótipo, verificou-se a necessidade de apresentá-lo em três partes: (i) *Back-End Nuvem*, onde abordam-se os conceitos utilizados para o desenvolvimento do sistema em nuvem; (ii) *Back-End ESP32*, parte em que explica-

se sobre os principais tópicos, premissas e soluções usados para a criação do *software* empregado ao dispositivo microcontrolado; e (iii) *Front-End*, seção que trata sobre o desenvolvimento da página *web* criada para controlar e apresentar os dados coletados pelo sistema.

4.2.2.1 Back-End Nuvem

A plataforma em nuvem utilizada para o desenvolvimento do sistema será baseada nos serviços fornecidos pela AWS. O primeiro módulo utilizado foi a *AWS IoT Core*, o qual, como mencionado na subseção 3.5.4, permite a integração de um *hardware* com a plataforma, possibilitando novos desenvolvimentos em IoT. Vale ressaltar que todas as peculiaridades desta aplicação se devem a sua comunicação nativa com o protocolo MQTT, o qual por sua vez permite a troca de mensagens entre inúmeros sistemas através da arquitetura de publicação/assinatura. Além disso, a comunicação com este módulo facilita a integração entre outros serviços presentes na biblioteca da AWS, possibilitando suas utilizações.

Posteriormente, utilizaram-se dois outros módulos, especificamente duas funções *Lambdas*, sendo elas: *sendToEsp32* e *esp32-lambdaToDynamo*.

O desenvolvimento da função *sendToEsp32* surgiu com o objetivo de realizar a publicação de mensagens em um determinado tópico, o qual por sua vez será assinado pelo dispositivo *hardware*. Apesar do conteúdo da mensagem poder ser eventualmente diferente, estabeleceu-se um contrato de envio, fazendo com que a mensagem enviada fosse anotada em um objeto *JavaScripty* (JSON, do inglês *JavaScript Object Notation*), como visualiza-se na Figura 5, onde o valor de *Kp* significa o ganho proporcional, *Ki* o valor do ganho integral, *Kd* o valor do ganho derivativo e *setPoint* o valor de referência para a luminância, em lux (lx).

Figura 5 – Contrato de mensagem enviado para o ESP32 em um formato JSON

```
1 {
2   "text": {
3     "kp": 0.075,
4     "ki": 0.3,
5     "kd": 0,
6     "setPoint": 500
7   }
8 }
```

Fonte: Autor

Devido a necessidade da função *sendToEsp32* ser chamada por alguma instância da AWS, utilizou-se o módulo *API Gateway*, que é responsável por facilitar a criação de chamadas à API *REST* dentre os sistemas da AWS. Uma vez que a integração entre os módulos foi finalizada, criou-se uma chamada *REST* do tipo *POST* para realizar a invocação da função, possibilitando o envio para o *hardware*. Pode-se observar a ilustração dessa integração na Figura 2.

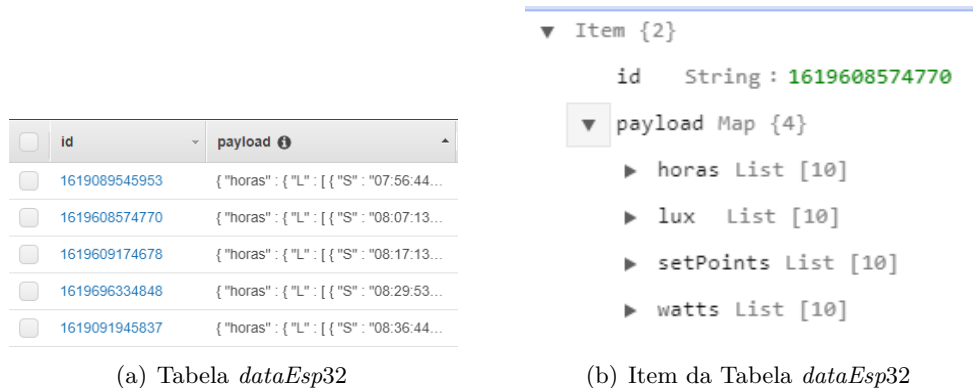
Por outro lado, a função *Lambda esp32-lambdaToDynamo* utilizou o próprio módulo da *AWS IoT Core* para realização de sua invocação, ficando responsável por assinar o tópico

criado pelo ESP32. Assim, a função *esp32-lambdaToDynamo* efetua a leitura, validação e registro dos dados em um banco de dados.

De forma semelhante, estabelece-se um contrato da mensagem enviada para o banco de dados, fazendo com que os dados recebidos cumpram um padrão. Apesar do contrato ser diferente do anterior, seu corpo principal é composto por um objeto *JSON*, que contém os valores da leitura realizada pelo sensor LDR convertidos para lx, potência fornecida para acionamento dos LEDs (*Watts*), valor de referência desejado (lx) e a hora de leitura.

Uma vez recebidos os dados, a função se encarrega de gravá-los em uma tabela do *DynamoDB* chamada *dataEsp32*. Dentro da base de dados, a mensagem é gravada em uma coluna *payload* e é identificada através de um *id* único, que representa a data e hora, em milissegundos, do armazenamento da mensagem, como observa-se nas Figuras 6a e 6b

Figura 6 – Tabela criada no *DynamoDB* para receber e armazenar os dados enviados pelo função *Lambda esp32-lambdaToDynamo*



Fonte: Autor

Além das duas funções *Lambdas* já descritas anteriormente, viu-se a necessidade da implementação de uma nova função, com o objetivo de leitura dos valores presentes na base de dados. Similarmente a metodologia implementada na função *sendToEsp32*, utilizou-se a *API Gateway* para realizar a invocação do *Lambda readDynamoDB*. Tendo em vista que a necessidade dessa função é apenas de leitura, o método *GET* foi utilizado para a realização da chamada a API.

A integração entre estes módulos da AWS se torna possível a partir das configurações de políticas do *IAM*, como visto anteriormente na subseção 3.5.5. Desta forma, tomou-se como premissa que o acesso fornecido entre os módulos fosse “total”, permitindo a liberação de todas as funcionalidades presentes em cada sistema.

4.2.2.2 Back-End ESP32

Para realizar a programação e configuração do ESP32, entendeu-se que o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE, do inglês *Integrated Development Environment*) do Arduino permitiria e atenderia todas as necessidades do projeto. Foram necessárias algumas configurações adicionais para a integração do ESP32 com o IDE do Arduino, possibilitando o desenvolvimento e criação do *software* a ser utilizado.

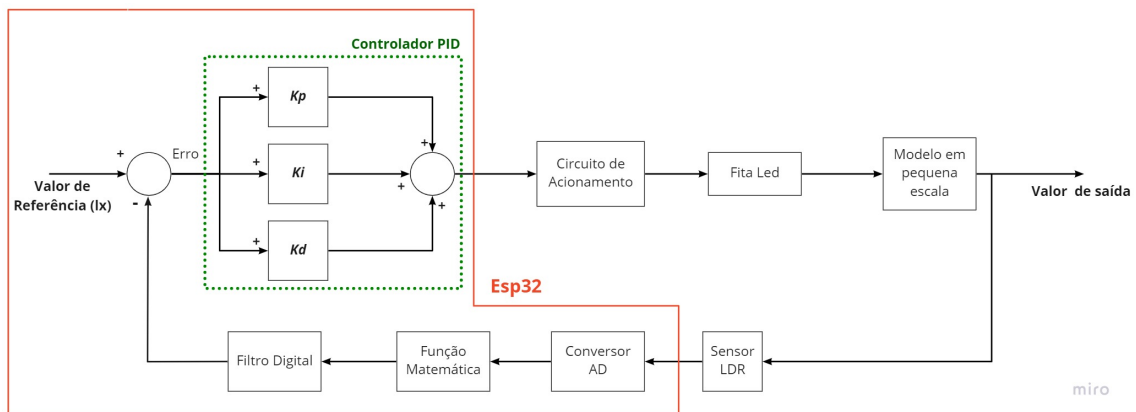
Após a realização das configurações, foram tomadas algumas premissas, afim de separar o desenvolvimento do programa em duas partes, sendo elas: (i) a implementação do Controlador PID e (ii) integração com a plataforma da AWS. Estas decisões foram tomadas visto que a programação utilizada dentro do microcontrolador funciona de maneira síncrona, ou seja, obedece a uma sequência de execução estabelecida no código, não permitindo que duas funções sejam executadas ao mesmo tempo sem a utilização de *multithreads*¹. É importante enfatizar a presença de dois núcleos dentro do ESP32, que possibilitam uma programação assíncrona, e permitem a execução de duas funções em paralelo.

Na aplicação desenvolvida nesse trabalho, os cálculos do controlador PID e a comunicação com a AWS serão executados em paralelo, ou seja, no mesmo momento. Entretanto, essa execução irá acontecer em diferentes núcleos. Salienta-se que o poder de processamento é o mesmo em ambos os núcleos, tornando o desempenho muito semelhante.

A Figura 7 apresenta o diagrama de blocos do sistema de controle proposto. Nesta figura, consegue-se visualizar a realimentação do nível de iluminância realizada através do sensor LDR. Verifica-se também o conversor analógico digital presente no microcontrolador ESP32. Este conversor permite que os valores de tensão na saída do LDR sejam convertidos para valores digitais de 12 bits, na faixa de 0 a 4095. Apesar da conversão feita, os valores encontrados não simbolizam a quantidade de iluminância presente no ambiente, sendo necessária a parametrização dos sinais lidos para lx utilizando uma função matemática, a qual será abordada na subseção 5.1.

Ainda no diagrama da Figura 7, visualiza-se um filtro digital que busca diminuir o ruído presente no sinal do sensor, reduzindo as oscilações. Embora existam diversos filtros que poderiam ser implementados, a escolha proposta focou-se no filtro de media móvel. Este filtro baseia-se em calcular a media entre os últimos n valores do sinal captado (MARTINS et al., 2003). O valor de n é definido pelo desenvolvedor e, quanto maior, mais precisa e mais demorada será a média calculada.

Figura 7 – Diagrama de blocos do sistema de controle proposto



Fonte: Autor

Implementação do Controlador PID: Visando a implementação do controlador PID no primeiro núcleo do sistema, utilizou-se a biblioteca *PID_v1* (BEAUREGARD,

¹ Multithreads: Processamento em paralelo por meio de *threads*.

2021), compatível com o Arduino IDE. Através desta biblioteca, indicou-se as variáveis responsáveis pelos valores de entrada, saída, valor de referência, Kp , Ki e Kd .

A função que implementa o controlador PID é executada a cada 200 milissegundos (tempo padrão estipulado pela biblioteca). Durante essa faixa temporal, deve ocorrer a leitura do sinal de tensão correspondente ao valor da iluminância, seu processamento, a realização de cálculos e a geração do valor da saída (sinal PWM de acionamento da fita LED). O objetivo principal desse ciclo é zerar o sinal de erro, que é a diferença do valor de referência para a iluminância (*setpoint*) para o valor medido instantaneamente.

Integração do ESP32 com a plataforma da AWS: Um dos primeiros passos para a integração entre a nuvem e o *hardware* do sistema consiste na criação da conexão do ESP32 com a internet através da biblioteca *WiFi* (ARDUINO, 2019) e a configuração de credenciais exigidas pela própria AWS. Essas credenciais são geradas durante a criação do projeto na AWS IoT. Embora a configuração das credenciais dentro do dispositivo microcontrolado pareça algo complexo, a biblioteca *AWS_IOT* (EXPLOREEMBEDDED, 2017), integrada ao Arduino IDE, auxilia e facilita as configurações necessárias como, por exemplo, a criação dos canais de publicação e recebimento de mensagens pelo protocolo MQTT.

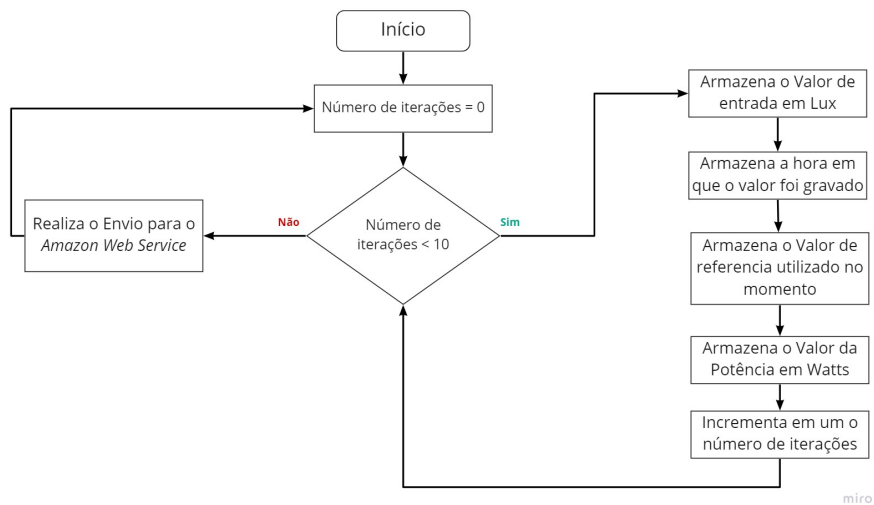
Na sequência, foram desenvolvidas as funções de subscrição e envio de mensagens. Como citado anteriormente na subseção 4.2.2.1, a troca de mensagens que ocorre entre o ESP32 e a plataforma da AWS deve respeitar o contrato previamente definido, como visualiza-se na Figura 5. Dessa forma, levantou-se a necessidade de utilizar a biblioteca *ArduinoJson* (BLANCHON, 2021), que permite ler e enviar os mensagens no formato *JSON*.

Um dos tópicos que utilizará a biblioteca *ArduinoJson*, será a função de subscrição, que possui os objetivos de: ler as mensagens recebidas da AWS IoT, analisá-las e alterar os valores de Kp , Ki , Kd e o valor de referência. Outra função utilizada é a função de publicação, que é responsável por enviar os seguintes dados para a AWS IoT: valor da leitura realizada pelo LDR convertida em lx, potência fornecida para acionamento dos LEDs (*Watts*), valor de referência desejado (lx) e a hora de leitura. Esses dados devem estar formatados em uma estrutura *JSON* para que, no final, sejam armazenados na base de dados *DynamoDB*, como visto na subseção 4.2.2.1. Entretanto, nem todos os dados lidos e processados serão publicados e conseqüentemente armazenados. A leitura do sensor LDR pelo microcontrolador acontece a cada 10 milissegundos, tornando o envio para o banco de dados muito tolerante a falhas. Criou-se então um mecanismo no qual, em intervalos de um minuto, são realizadas as gravações dos valores a serem enviados em determinados *arrays* que correspondem às informações necessárias. Posteriormente, a cada 10 iterações, são publicadas as informações em seu devido canal. A Figura 8 representa através de um fluxograma essa implementação. Um outro ponto relevante a ser informado é a utilização da biblioteca *NTPClient* (ARDUINO, 2021), a qual fornece a hora exata em que o envio foi realizado, permitindo assim um maior controle na hora da separação e análise dos dados.

4.2.2.3 Front-End

Através da interface *web* criada e apresentada na Figura 9, o usuário poderá monitorar e acompanhar o consumo de energia elétrica, verificar históricos e avaliar medidas para melhoria da eficiência energética do sistema de iluminação.

Figura 8 – Fluxograma que representa o código implementado para realização do envio de mensagens para a AWS IoT

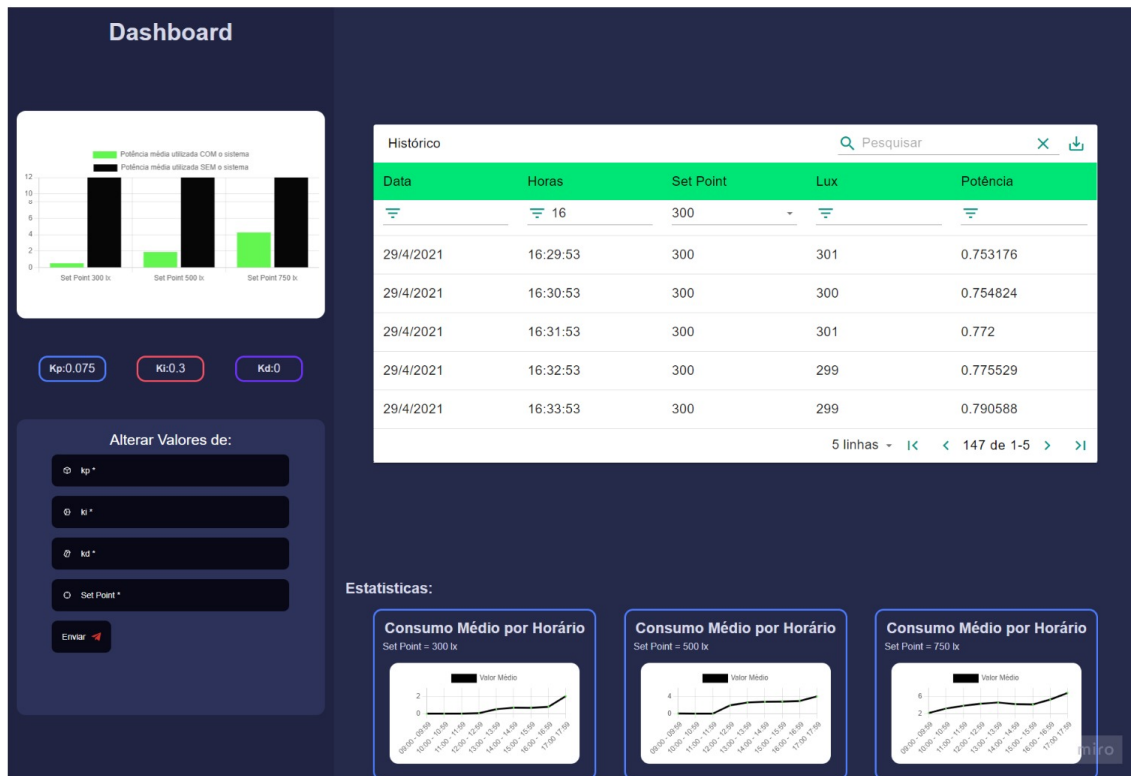


Fonte: Autor

O desenvolvimento da aplicação *web* deu-se pela utilizações de algumas bibliotecas presentes na linguagens de programação *JavaScript*, onde pode-se enfatizar o uso da bibliotecas *ReactJS* (REACT, 2021). A página criada é baseada em componentes que possibilitam ao usuário uma interface visual, permitindo sua interação. A interface é capaz de compilar os dados coletados pelo *hardware* desenvolvido, mostrando-os em forma de gráficos e tabela. Além disso, criou-se um formulário capaz de enviar novos valores de K_p , K_i , K_d e Valor de Referência via API *REST*, criada anteriormente através da *API Gateway*.

O fato do formulário desenvolvido comunicar-se diretamente com uma API se torna possível devido a utilização da biblioteca *Axios* (AXIOS, 2021). Esta biblioteca, permite a criação de chamadas das APIs, sendo elas do método *GET*, *POST*, *DELETE* ou *UPDATE*. Assim, adotou-se novamente a utilização dos recursos fornecidos por esta biblioteca para buscar os dados presentes no *DynamoDB*. Isso possibilitou a criação de uma tabela que comporta os valores de potência, data, hora, valor de iluminância e valor de referência.

Figura 9 – *Front-End* implementado afim de auxiliar o usuário na utilização do sistema



Fonte: Autor

5 Resultados e Discussões

A presente seção visa apresentar os resultados obtidos no decorrer do desenvolvimento e implementação do projeto, além de descrever o processo realizado para os testes, as configurações de variáveis de ambientes e desenvolvimento da função matemática para conversão das leituras do conversor AD em lx.

5.1 Função Matemática

A função matemática utilizada para converter o valor lido pelo conversor AD, que corresponde ao sinal de saída do sensor LDR, em lx foi desenvolvida através de experimentos realizados em malha aberta (sem a presença do controlador PID). Nestes experimentos, foram coletados os níveis de iluminância presentes no ambiente através do sensor LDR, ao mesmo tempo, de um aplicativo *mobile* chamado *Medidor de Luz* (ILLUMINATION, 2015). Esse aplicativo tem como objetivo realizar a implementação de um luxímetro através dos sensores do *Smartphone*. Para variação dos níveis de iluminância, contou-se com o auxílio de uma lâmpada inteligente de 9 *Watts*, a qual pode ser controlada a partir de um *Smartphone*, permitindo que o usuário aumente e diminua sua potência.

Criou-se então um ambiente de testes, permitindo medir o nível de iluminância presente no ambiente, por meio do aplicativo e também utilizando o sensor LDR conectado ao microcontrolador ESP32. Para cada medição de valores realizados, alterou-se a porcentagem de iluminância fornecida pela lâmpada, permitindo assim a coleta dos dados presentes na Tabela 1. É importante ressaltar que os valores coletados próximos ou iguais

a zero representam um nível muito baixo de iluminância no ambiente. Por consequência, os valores mais altos representam uma quantidade maior de iluminância no ambiente.

Tabela 1 – Coleta de dados para elaboração da função matemática

% de luminância da Lâmpada Inteligente	Conversor AD	Aplicativo (lx)
0	0	0
4	523	186
8	724	284
12	864	364
16	993	454
20	1112	530
24	1201	635
28	1285	711
32	1361	790
36	1419	870
40	1479	955
44	1526	1029
48	1583	1120
52	1617	1198
56	1654	1268
60	1696	1342
64	1726	1400
68	1758	1466
72	1782	1548
76	1818	1597
80	1838	1657
84	1857	1723
88	1881	1790
92	1903	1848
96	1926	1905
100	1945	1960

Fonte: Autor

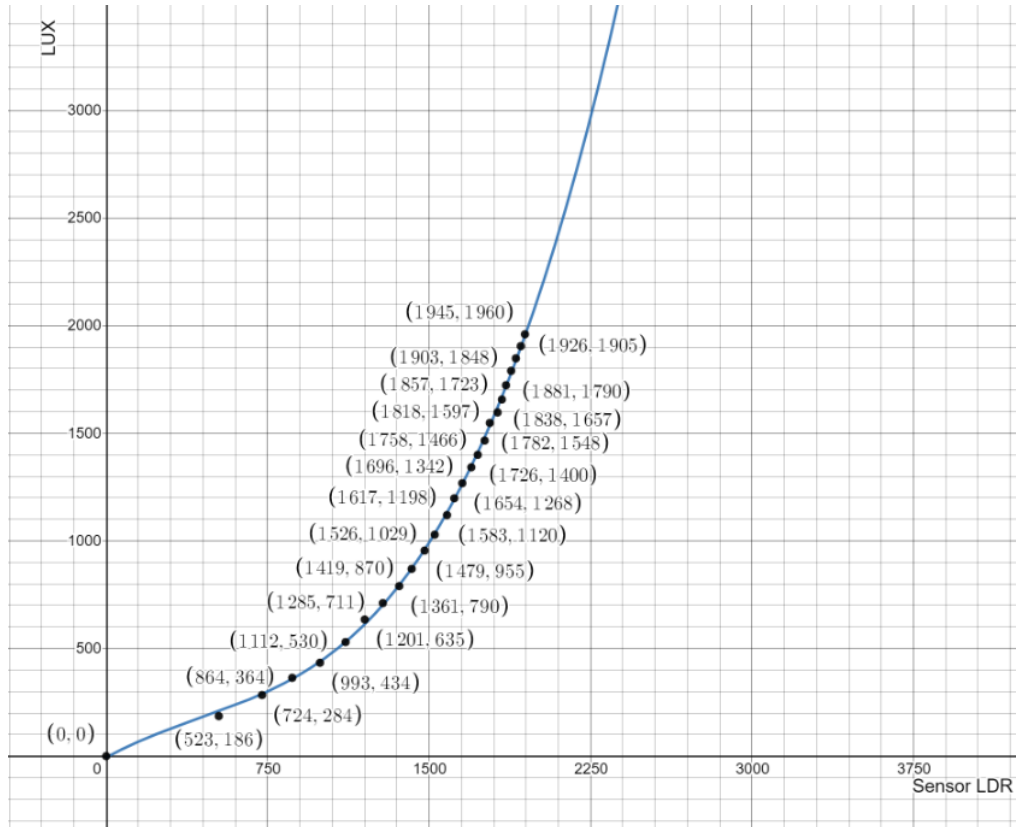
Posteriormente a coleta dos dados, observou-se que os valores coletados não apresentam uma relação linear, provocando a necessidade da criação de uma função matemática polinomial de grau mais elevado. Foi utilizada assim, a função *polyfit*, presente na biblioteca *numpy* da linguagem de programação *Python*, a qual, a partir de pontos definidos nos eixos x e y, possibilita encontrar uma função cuja ordem será informada pelo usuário (NUMPY, 2021). Foram consideradas as leituras do conversor AD como valores no eixo das abcissas e as leituras do aplicativo como valores no eixo das ordenadas. Ao finalizar o processo de codificação, gerou-se a primeira função matemática com uma ordem igual a dois. Entretanto foi observado que os valores próximos de zero divergiam do valor esperado. Afim de obter-se resultados iguais ou próximos a zero, elaborou-se uma nova função utilizando a Tabela 1, dessa vez com ordem igual a três, conforme apresentada na Equação (2).

$$f(x) = 3,556 * 10^{-7}x^3 - 4,585 * 10^{-4}x^2 + 5,531 * 10^{-1}x - 6,196 \quad (2)$$

Na sequência, gerou-se gráfico da função, presente na Figura 10, com o intuito facilitar a análise visual. Assim, foi observado que a função de ordem três apresenta uma

melhor aproximação dos dados coletados e, por conta disso, foi implementada para converter os valores lidos pelo conversor AD, a partir do sensor LDR, em lx.

Figura 10 – Gráfico da função matemática de ordem três



Fonte: Autor

5.2 Parâmetros do Sistema

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram considerados valores iniciais para os parâmetros K_p , K_i , K_d e Valor de Referência. A alteração de seus valores afeta diretamente o modo de como o sistema irá ser executado. Todavia, é necessário definir um valor inicial, para realização do processamento. Utilizou-se então os parâmetros demonstrados na Tabela 2 como valores iniciais.

Tabela 2 – Parâmetros iniciais utilizados

Parâmetro	Valores Iniciais
K_p	0,075
K_i	0,30
K_d	0
Valor de Referência	300 lx

Fonte: Autor

Para os ganhos do controlador, foram estabelecidos os valores iniciais com base nos estudos realizados por Francis (2019). Já o Valor de Referência foi considerado igual a

300 lx, visto que este é o menor nível de iluminância indicado para um escritório, como registrado na norma brasileira NBR ISO/CIE 8995 – 1 (ABNT, 2013). Vale ressaltar que os parâmetros podem ser alterados a partir do *Front-End* desenvolvido para o projeto, descrito na subseção 4.2.2.3.

5.3 Cenário Implementado

A realização dos testes baseou-se na norma NBR ISO/CIE 8995 – 1 ABNT (2013), onde são especificados os valores mínimos de iluminância de diversos tipos de ambientes, incluindo escritórios. Apesar de existirem na norma categorias de escritórios voltados para diversas atividades, acarretando em diferentes níveis de iluminância, foram utilizados apenas os valores de 300, 500 e 750 lx para a realização dos testes, que visam verificar a funcionalidade do protótipo.

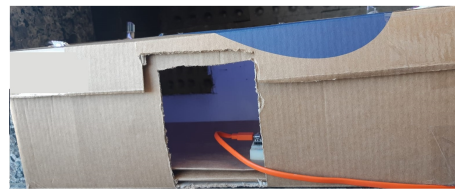
Os testes ocorreram entre os dias 22/04/2021 e 30/04/2021, aproximadamente das 8:00h até às 22:00h. Entretanto, apenas a faixa do horário comercial (9:00h até às 18:00h) foi considerada para os resultados. Quanto às condições climáticas, durante a realização dos testes obteve-se dias ensolarados e dias com menor incidência de sol.

Nas Figuras 11a, 11b e 11c observa-se o modelo em escala, realizando a coleta de dados em diversos horários do dia. É possível visualizar na Figura 11a a incidência direta da luz do sol nas aberturas do ambiente em escala. Essa incidência direta faz com que o sistema receba iluminação natural, fazendo desta forma com que a iluminação artificial não precise ser acionada na sua capacidade máxima.

Figura 11 – Simulação sendo realizada em uma posição geográfica igual a 43° a Norte e em diversos períodos do dia na cidade de Araranguá - Santa Catarina



(a) Simulação sendo realizada às 9:00h



(b) Simulação sendo realizada às 13:00h



(c) Simulação sendo realizada às 18:00h

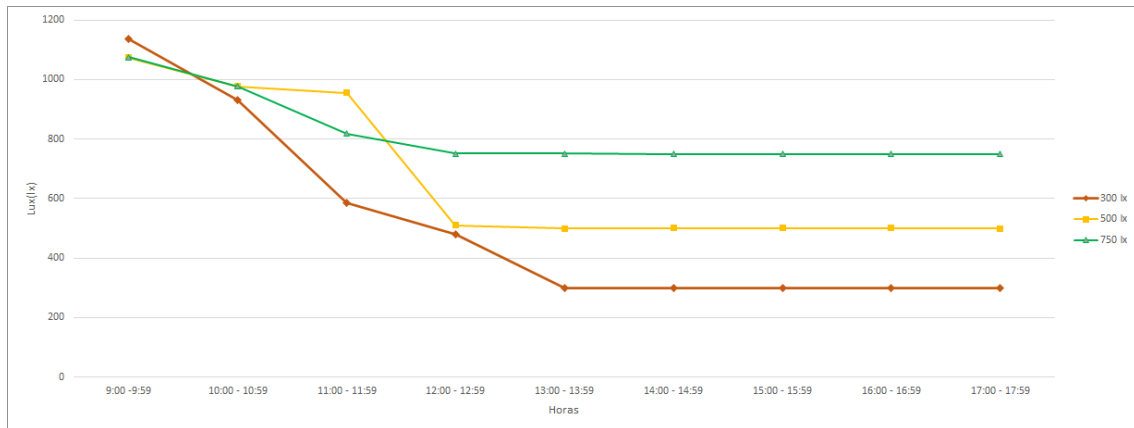
Fonte: Autor

5.4 Resultados e Análises

Após a alguns dias de simulações e coleta de dados, foi possível a realização das análises do resultados para três cenários, sendo eles: (i) Valor de Referência igual a 300 lx, (ii) Valor de Referência igual a 500 lx e (iii) Valor de Referência igual a 750 lx.

Através do gráfico apresentado na Figura 12, observam-se os dados referentes aos níveis de iluminância, coletados durante os testes realizados com o protótipo. Visualiza-se que os níveis atingiram valores acima do Valor de Referência em alguns horários. Estando diretamente ligados a incidência direta da luz do sol nas aberturas do ambiente em escala, acarretando uma grande contribuição de iluminação natural.

Figura 12 – Média da quantidade de iluminância presente no sistema, na faixa do horário comercial



Fonte: Autor

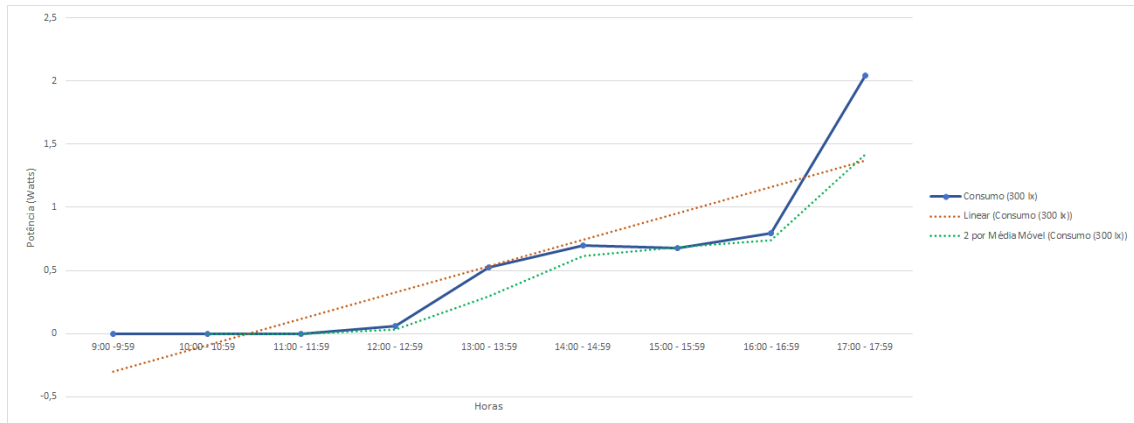
Ainda analisando os resultados da Figura 12, visualizar-se a importância do sistema de controle, principalmente quando os níveis de iluminância natural já não são tão presentes. Percebe-se isso, através das curvas entre os horários das 13:00h e 18:00h. Nestes horários, os valores de iluminância estão muito próximos dos valores de referência.

A Figura 13 apresenta o consumo médio de potência elétrica da fita LED ao longo do horário comercial para o primeiro cenário, no qual o valor de referência utilizado é igual a 300 lx. A partir do gráfico, é possível observar que no período da manhã o consumo de energia é muito próximo ou igual a zero devido a incidência direta da luz do sol nas aberturas do ambiente em escala, destacado na Figura 12. De maneira análoga, visualiza-se, com base na curva em azul, que ao diminuir a presença da iluminação natural a fita LED é acionada com o objetivo de regular a iluminância dentro do ambiente, o que está de acordo com a implementação do controlador PID.

Nos cenários onde os valores de referencia são iguais a 500 e 750 lx, representados nas Figuras 14 e 15, respectivamente, observa-se o mesmo efeito verificado anteriormente, onde no período da manhã a potência dos LEDs é igual ou muito próximo a zero.

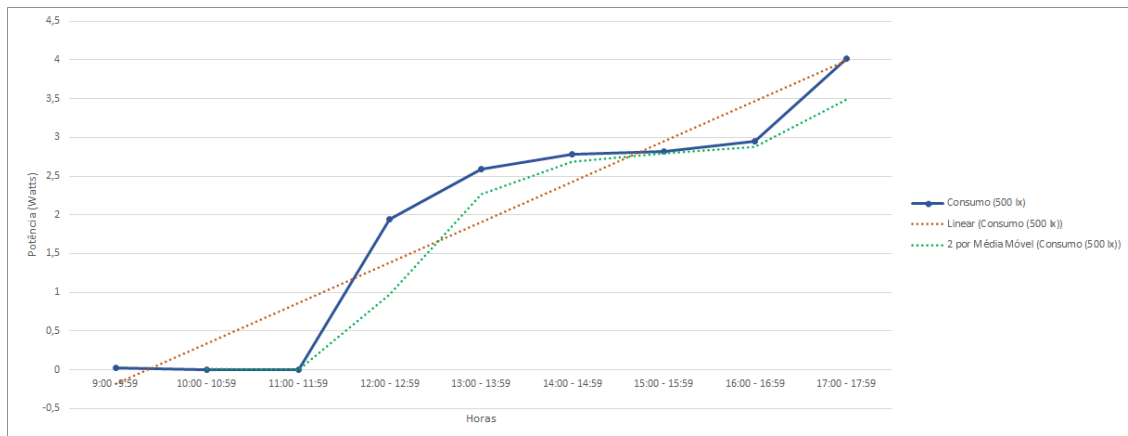
Também são observadas nas Figuras 13, 14 e 15, que o maior máximo da da potência ocorre por volta das 17:00h e 18:00h. Isso ocorre devido a ausência de luz fim de luz natural incidente no modelo em escala, provocando um ambiente mais escuro. Todavia, para manter os níveis de iluminância próximos ao valor de referência, o sistema de controle aumenta cada vez mais a potência dos LEDs, implicando diretamente em uma maior consumo de energia elétrica. Além das curvas em azul, que representam o valor médio da potência gasta pela fita LED durante o horário comercial, nas figuras ainda são apresentadas as curvas em laranja, que representam como a energia seria gasta de forma linear durante um dia, e a curva verde, que representa uma media móvel calculada entre dois pontos da curva em azul.

Figura 13 – Média da potência utilizada durante a faixa de horário comercial, utilizando um valor de referência igual a 300 lx



Fonte: Autor

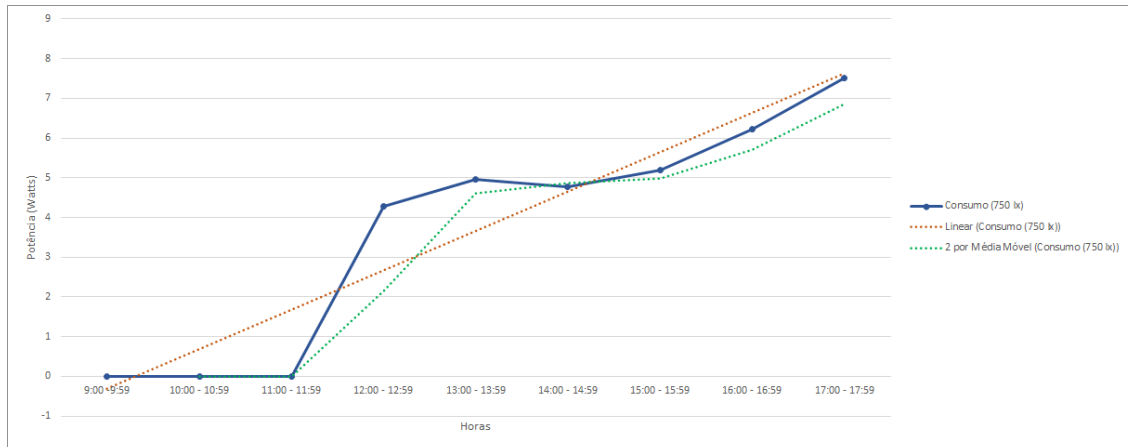
Figura 14 – Média da potência utilizada durante a faixa de horário comercial, utilizando um valor de referência igual a 500 lx



Fonte: Autor

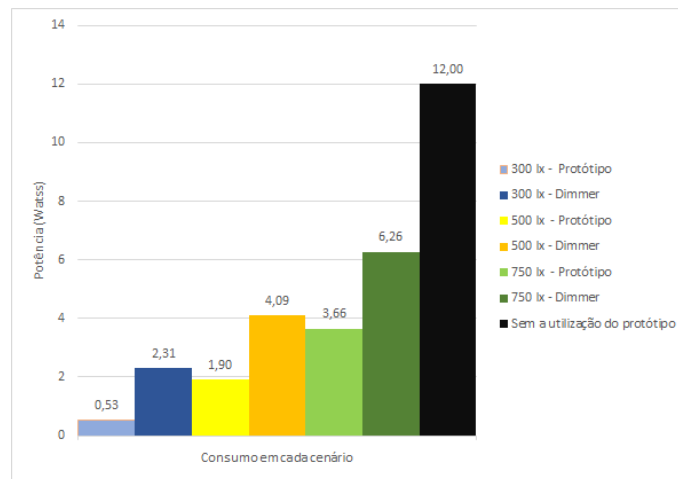
Por fim, gerou-se o gráfico presente na Figura 16, onde estão representados o valor médio de potência dos três cenários juntamente com o valor esperado de um cenário sem a utilização do sistema de controle de iluminação. Esse cenário baseia-se utilizar a máxima potência de 12 *Watts* fornecida pelos LEDs durante todo o período. Além disso, foram incluídos no gráfico também as potências médias dos valores utilizados por um sistema em malha aberta nos quais o acionamento das fitas LED foram ajustados para atingir os níveis de iluminância de referência sem a contribuição da iluminação natural. Essa última situação representa a dimerização da fita LED e visa tornar a análise mais realista, desconsiderando eventuais problemas de superdimensionamento do sistema de iluminação artificial.

Figura 15 – Média da potência utilizada durante a faixa de horário comercial, utilizando um valor de referência igual a 750 lx



Fonte: Autor

Figura 16 – Média da potência utilizada em todos os cenários testados



Fonte: Autor

Com base na Figura 16 observa-se a relevância do sistema desenvolvido, visto que a redução do consumo de potência entre os cenários testados é significativa quando comparado com os cenários sem a utilização do sistema. Na Tabela 3 apresentam-se os valores médios, em porcentagem, da redução de potência obtida através da utilização do protótipo desenvolvido com controle em malha fechada, em comparação com os cenários em malha aberta (ajuste do acionamento das fitas LED e máxima potência). Verifica-se que, em média, a utilização do sistema de controle em malha fechada possibilitou cerca de 84,14% na redução da potência elétrica, para o modelo em pequena escala proposto, quando comparado ao sistema em malha aberta que utiliza a potência máxima dos LEDs em todos os momentos.

Vale ressaltar que no presente trabalho, todas as análises e resultados só foram possíveis graças aos dados coletados, enviados e armazenados no banco de dados. Destaca-

Tabela 3 – Redução média da potência elétrica em malha fechada quando comparado com o sistema em malha aberta e a máxima potência dos LEDs

Cenários	% Malha Aberta	% Max. Pot. LEDs
300lx	23%	95,56%
500lx	46%	84,14%
750 lx	58%	69,51%

Fonte: Autor

se então a importância dos recursos IoT no sistema, possibilitando a exportação dos dados quando necessário e também permitindo análises dos dados de maneira rápida pela plataforma *web* criada. Outro ponto importante a ser destacado, é a possibilidade de alteração dos valores de referência que foram realizados através do formulário presente na plataforma. No entanto, observou-se que quando a quantidade de dados coletados foi maior que 3.000, a plataforma apresentou dificuldades em seu processamento, acusando lentidão.

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento de um protótipo que permite a automação do controle da iluminação artificial em um ambiente, provocando a redução no consumo de energia. Além disso, a automação realizada utilizou-se de conceitos de IoT, possibilitando tanto a integração com a nuvem tanto sua conexão com uma plataforma *web*, desenvolvida para o presente trabalho. Através de um modelo em escala, foi possível a realização de testes, comprovando a funcionalidade da solução proposta. Os resultados apontam uma redução na potência elétrica média de 95,56%, 84,14% e 69,51% em ambientes com referências de iluminâncias de 300, 500 e 750 lx respectivamente, quando comparados com um sistema em malha aberta que não utiliza o protótipo desenvolvido.

Embora os resultados atingidos sejam expressivos, é necessária a implementação do protótipo em um ambiente de maior escala, onde a funcionalidade do sistema proposto consiga ser constatada com um maior grau de certeza. Desta forma, será necessária a utilização de mais sensores, a fim de buscar uma maior cobertura e precisão nos dados coletados. Além disso, é recomendado testar a utilização de cortinas neste ambiente de maior escala, visando diminuir a incidência direta de luz em alguns horários. Também se aconselha realizar testes com diferentes tipos de filtros, com o objetivo de minimizar o problema de ruído na leitura dos sensores.

Outra teste interessante a ser realizado é a substituição das bibliotecas utilizadas para criação do *Front-End* da aplicação, visto que, em que em grandes quantidades de dados, a mesma apresentou problemas de lentidão. Esta implementação facilitaria novas análises e estudos a partir dos dados coletados.

Da mesma forma, é desejável a criação de monitoramento através de aplicações *mobile* e a integração com assistentes pessoais como, por exemplo, a *Alexa*, permitindo um conforto ainda maior para o usuário. Trabalhos futuros podem considerar a utilização dessas abordagens apresentadas na presente seção, além da possibilidade de substituição do dispositivo microcontrolado, afim de reduzir ainda mais o custo de implementação do projeto.

Referências

- ABNT. *NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho*: Associação brasileira de normas técnicas. 2013. 53 f.
- AL-FUQAHA, A. et al. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015.
- ALAM, F. et al. Data fusion and iot for smart ubiquitous environments: A survey. *IEEE Access*, v. 5, p. 9533–9554, 2017.
- ALMEIDA, O. d. M. *Controle PID auto-ajustável, inteligente e preditivo*. 156 f. Tese (Tese de doutorado) — Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- AMAZON. *Amazon API Gateway*. 2021. Acessado em Maio 2, 2021. Disponível em: <<https://docs.aws.amazon.com/apigateway/latest/developerguide/welcome.html>>.
- AMAZON. *Amazon DynamoDB*. 2021. Acessado em Maio 2, 2021. Disponível em: <https://docs.aws.amazon.com/pt_br/amazondynamodb/latest/developerguide/Introduction.html>.
- AMAZON. *Amazon Lambda*. 2021. Acessado em Maio 2, 2021. Disponível em: <https://docs.aws.amazon.com/pt_br/lambda/latest/dg/welcome.html>.
- AMAZON. *AWS Identity and Access Management*. 2021. Acessado em Maio 2, 2021. Disponível em: <<https://docs.aws.amazon.com/IAM/latest/UserGuide/introduction.html>>.
- AMAZON. *AWS IoT Core*. 2021. Acessado em Maio 2, 2021. Disponível em: <<https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/what-is-aws-iot.html>>.
- ANDRADE, L. F. *Adaptador Inteligente para Automação Residencial baseado em Internet das Coisas*. 88 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Engenharia Elétrica e Eletrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2018.
- ARDUINO. *WiFi library*. 2019. Acessado em Maio 7, 2021. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/WiFi>>.
- ARDUINO. *NTPClient*. 2021. Acessado em Maio 7, 2021. Disponível em: <<https://github.com/arduino-libraries/NTPClient>>.
- ASTROM, K. J. *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*. [S.l.]: ISA - The Instrumentation, Systems and Automation Society, 1995.
- AXIOS. 2021. Acessado em Maio 7, 2021. Disponível em: <<https://github.com/axios/axios>>.
- BACK, T. M. *Análise E Implementação De Um Sistema Automático Para Gerenciamento E Comutação Em Fontes Renováveis*. 27 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019.

- BEAUREGARD, B. *ArduinoPIDLibrary*. 2021. Acessado em Maio 7, 2021. Disponível em: <<https://github.com/br3ttb/Arduino-PID-Library>>.
- BEZERRA, J. H. *Estudo de Sistema de Controle Usando o Controlador PID em Processos Industriais*. 86 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Engenharia de Mecânica, Universidade Estadual De Campinas, Campinas, 2007.
- BLANCHON, B. *Documentation*. 2021. Acessado em Maio 7, 2021. Disponível em: <<https://arduinojson.org/v6/doc/>>.
- CHAUDHURI, A. *Internet of Things, for Things, and by Things*. [S.l.: s.n.], 2018. 0-285 p.
- CHEN, H. W.; LIN, F. J. Converging mqtt resources in etsi standards based m2m platform. In: *2014 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings), and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 292–295.
- COMER, D. *Redes de computadores e Internet: abrange transmissão de dados, ligação inter-redes e Web*. Bookman, 2001. ISBN 9788573077780. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=kWlbAgAACAAJ>>.
- EPE. *Matriz Energética e Elétrica*. 2021. Acessado em Abril 23, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>.
- ESPRESSIF. *ESP32-WROOM-32E ESP32-WROOM-32UE Datasheet*. 2021. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf>.
- EXPLOREEMBEDDED. *WArduinoesp32awsiot*. 2017. Acessado em Maio 7, 2021. Disponível em: <https://github.com/ExploreEmbedded/Hornbill-Examples/tree/master/arduino-esp32/AWS_IOT>.
- FRANCIS, L. T. *Análise E Desenvolvimento De Um Sistema De Controle Para Integração Eficiente Da Iluminação Natural E Artificial*. 85 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Engenharia de Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019.
- GROUP, S. R. *Cloud Market Ends 2020 on a High while Microsoft Continues to Gain Ground on Amazon*. 2021. Acessado em Abril 31, 2021. Disponível em: <<https://www.srgresearch.com/articles/cloud-market-ends-2020-high-while-microsoft-continues-gain-ground-amazon>>.
- IEA. *Energy Efficiency 2020*. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020/buildings>>.
- ILLUMINATION, O. L. 2015. Acessado em Maio 7, 2021. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.srm.o2ledillumination&hl=pt_BR&gl=US>.
- JAIR, J.; JUNIOR, A. M.; STEVAN, S. L. *LDR E SENSORES DE LUZ AMBIENTE : FUNCIONAMENTO E APLICAÇÕES*. 2013. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/287958715>>.

- JR, J. P. A.; RIBEIRO, C. M.; JR, R. C. Medição remota de parâmetros elétricos usando iot baseada no microcontrolador esp32. *Blucher Physics Proceedings*, v. 6, n. 1, p. 109 – 116, 2019. ISSN 2358-2359. Disponível em: <www.proceedings.blucher.com.br/article-details/medio-remota-de-parmetros-eltricos-usando-iot-baseada-no-microcontrolador-esp32-33237>.
- KAMIENSKI, C. et al. Context-aware energy efficiency management for smart buildings. In: *2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 699–704.
- KHAN, R. et al. Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. In: *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 257–260.
- KUROSE, J.; ROSS, K. *Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 6 Edição. 0-656 p.
- KUSHIDA, T.; PINGALI, G. S. Industry cloud - effective adoption of cloud computing for industry solutions. In: *2014 IEEE 7th International Conference on Cloud Computing*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 753–760.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. *A Eficiência Energética na Arquitetura*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 3 Edição.
- LUVIZOTO, D. L. *Estudo de Implementações de Pilhas TCP/IP para microcontroladores*. 53 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- MARTINS, C. F. et al. *Aplicação De Um Filtro Digital Implementado Em Microcontrolador Para Sensoriamento Ótico*. 2003. 5 f.
- MORGADO, R. J. L. *Estudo e Aplicação de um Sistema de Controle Automático de Temperatura Ambiente*. 62 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Engenharia Elétrica com ênfase em Sistema de Energia e Automação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- NISE, N. S. *Engenharia de Sistemas de Controle*. 6ª edição. ed. [S.l.: s.n.], 2012. 0 -760 p.
- NOLAN, K. E.; GUIBENE, W.; KELLY, M. Y. An evaluation of low power wide area network technologies for the internet of things. In: *2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 439–444.
- NUMPY. 2021. Acessado em Maio 7, 2021. Disponível em: <<https://numpy.org/>>.
- OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno*. 5ª edição. ed. [S.l.: s.n.], 2010. 0 -824 p.
- OLIVEIRA, A. H. et al. *Aplicações De Automação Em Iot –Internet Of Things*. 2016. 19 f.
- PEDROZO, R. M. *Implantação De Uma Rede Utilizando Os Padrões Do Protocolo Ipv6*. 81 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Tecnologia Em Redes De Computadores, Universidade Federal De Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- REACT. 2021. Acessado em Maio 7, 2021. Disponível em: <<https://pt-br.reactjs.org/>>.

SANTOS, J. W.; JUNIOR, R. C. D. L. *Sistema De Automação Residencial De Baixo Custo Controlado Pelo Microcontrolador Esp32 E Monitorado Via Smartphone*. 46 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

SILVA, L. N. D. *Controle PID De Temperatura Com Integração De Dados Em Rede*. 65 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Engenharia Mecatrônica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SOLIMAN, M. et al. Smart home: Integrating internet of things with web services and cloud computing. In: . [S.l.: s.n.], 2013. v. 2, p. 317–320.

SZALAI, A. et al. Smart ssl: Application of iot/cps design platforms in led-based street-lighting luminaires. In: *2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6.