

HIGH BAY: TELEMETRIA E CONTROLE DE LUMINÁRIAS DE ALTA POTÊNCIA

Douglas de Oliveira Fernandes 1^{1*}

Kalebe Bostelmann Maia 2^{2**}

João Antonio Barioni 3^{3***}

João Gabriel Cheutchuk 4^{4***}

RESUMO

O propósito deste artigo é explorar a respeito do projeto que consistiu no aprimoramento de uma luminária industrial High bay através do uso de uma abordagem de estudo de caso com métodos de controle remotos e telemetria, visando propor um baixo custo de implementação e um alto valor agregado. Inicialmente o artigo expõe a respeito do cenário atual no que diz respeito ao mercado de iluminação industrial elencando pontos de diferenciação entre luminárias convencionais e luminárias ditas inteligentes, elucidando o leitor a respeito do tema e do que seria desenvolvido bem como sobre os materiais e tecnologias que seriam utilizados. Os resultados demonstram que não só é possível o desenvolvimento de luminárias com funcionalidades além das oferecidas atualmente pelo mercado de iluminação industrial, mas que há uma grande carência no que diz respeito a sistemas ou dispositivos de iluminação que possam prover iluminação de qualidade, de forma energeticamente otimizada através de sensoriamento e não menos importante, que ofereça interface com tecnologias amigáveis aos usuários, como Smartphones, computadores ou porque não a Internet.

Palavras-chave: Luminárias High Bay; IoT; Eletrônica de potência; Sistemas de iluminação

ABSTRACT

The purpose of this article is to explore the project that consisted in the improvement of an industrial High bay luminaire through the use of a case study approach with remote control methods and telemetry, aiming to propose a low implementation cost and a high added value. Initially, the article exposes the current scenario with regard to the industrial lighting market, listing points of differentiation between conventional luminaires and so-called intelligent luminaires, elucidating the reader about the theme and what would be developed as well as about the materials and technologies that would be used. The results demonstrate that not only is it possible to develop luminaires with functionalities beyond those currently offered by the industrial lighting market, but that there is a great lack with regard to lighting systems or devices that can provide quality lighting, in an energy-efficient way, optimized through sensing and, not least, that offers interface with user-friendly technologies, such as Smartphones, computers or why not the Internet.

Key words: High Bay fixtures; IoT; Power electronics; lighting systems

^{1*}Técnico em Mecatrônica - Faculdade de Tecnologia da Indústria. E-mail: douglas.oliveiras2210@gmail.com

^{2**}Técnico em Mecatrônica - Faculdade de Tecnologia da Indústria. E-mail: kalebebm8@gmail.com

^{3***}Técnico em Eletromecânica - Faculdade de Tecnologia da Indústria. E-mail: joao.barioni.2002@gmail.com

^{4***}Técnico em Mecatrônica - Faculdade de Tecnologia da Indústria. E-mail: joaogabriel.cheutchuk@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Como uma consequência do advento da Internet das Coisas⁵ ou IoT (Internet Of Things), acompanhada do avanço da nanotecnologia principalmente no que se refere à produção de circuitos integrados, um dos movimentos de mercado visto é o aumento da demanda e por conseguinte da oferta por dispositivos eletrônicos menores, energeticamente mais eficientes e capazes de conectar-se a Internet. Levando em conta somente no Brasil, a não muito tempo atrás houve cerca de 424 milhões de dispositivos digitais em uso, dentre eles computadores, notebooks, tablets e smartphones. Tão somente o número de celulares inteligentes (Smartphones) já nos leva a concluir que se vive em um país com mais dispositivos móveis que habitantes, sendo 242 milhões de celulares contra uma população de pouco mais de 214 milhões de pessoas (FGV, 2020).

Tais dados realçam o fato de que para os consumidores, a maior quantidade de recursos tecnológicos nunca é demais. Quando o assunto é dispositivos para iluminação este cenário não é diferente, dados revelam que o mercado mundial de iluminação inteligente deve crescer 20,4% ao ano, entre 2021 e 2028, atingindo a marca de US \$46,90 bilhões até o final do período (EXPOLUX, 2022). Portanto, a busca por dispositivos para iluminação que sejam capazes de aliar iluminação energeticamente viável a sistemas de controle “inteligentes” por um preço competitivo torna-se um diferencial que poucos fabricantes são capazes de atender.

Trazendo a temática da iluminação para o lado industrial é nítido que existe de fato um oceano azul de oportunidades, já que a iluminação adequada no ambiente de trabalho é algo crucial para uma companhia, podendo até afetar diretamente na qualidade de vida e por conseguinte na produtividade do trabalhador, existindo inclusive normas que vogam a respeito do tema, como a NR17 (Ergonomia) e a NBR 8995/1453 (Iluminação em ambientes de trabalho) (OLIVEIRA, 2021). Ainda no quesito de iluminação industrial, é nesses ambientes onde são utilizadas as chamadas luminárias High bay, dispositivos voltados para a iluminação de espaços amplos, instalações com pé direito alto podendo chegar de 6 a 25 metros (LUTERLED, 2020). Geralmente estas luminárias são compostas de um suporte para fixação, um driver de potência e uma carcaça de alumínio, onde internamente são fixados e enclausurados os LEDs de iluminação.

Estes dispositivos geralmente não têm um grau de proteção muito alto, considerando que fixadas ao teto não estão sujeitas a água ou temperaturas extremas. Se a aplicação requer grau de proteção elevado visando a utilização do dispositivo de iluminação em ambientes hostis, ambientes estes onde a presença humana pode representar um risco tanto para o colaborador (risco de vida) quanto para a companhia (processos trabalhistas), a discussão assume outros matizes, pois obviamente ambientes sujeitos a temperaturas muito altas ou muito baixas, ambientes subaquáticos ou ambientes passíveis de desmoronamento, demandam de luminárias muito mais robustas onde a implementação de uma lógica de controle “inteligente” torna-se mais difícil e portanto mais custosa.

Nessa conjuntura a Potenze Iluminação LED (light-emitting diode) é uma empresa brasileira com sede na cidade de Curitiba, especializada na fabricação, manufatura e teste de luminárias LED High Bay tanto convencionais quanto especiais, aplicáveis a ambientes que requerem um grau de proteção (IP) mais elevado, ambientes agressivos que exigem alto desempenho luminoso e resistência mecânica, como interiores de máquinas, fundições, túneis, bunkers, usinas e mineradoras. Sua carcaça é fabricada em alumínio com blindagem à prova d'água, o que garante melhor dissipação de calor e durabilidade (POTENZE, 2022). A

⁵ descreve objetos físicos (ou grupos de tais objetos) com sensores, capacidade de processamento, software e outras tecnologias que conectam e trocam dados com outros dispositivos e sistemas pela Internet ou outras comunicações.

distinção no quesito dos enclausuramentos em alumínio não é anormal, considerando que a origem da companhia se deu pela junção dos mais de 25 anos de know-how em fundição de alumínio em coquilha e usinagem CNC pela empresa PLONA e o capital inicial inteligentemente injetado em pesquisa de tecnologias bem como desenvolvimento de fornecedores estratégicos. Ademais, além de a Potenze atuar no desenvolvimento e comercialização de luminárias, também oferece o serviço de projetos luminotécnicos, podendo atender tanto um cliente que necessita somente substituir uma luminária com defeito quanto um cliente que está construindo um galpão e precisa saber quantas luminárias utilizar, quais e como.

Assim o objetivo deste artigo é explorar a respeito do projeto, que consiste no aprimoramento de uma luminária industrial High bay (baia alta, geralmente instalada entre 6 e 12 metros de altura) através do uso de uma abordagem de estudo de caso com métodos de controle remotos e telemetria, visando um baixo custo de implementação e um alto valor agregado. Empreendimento este que só foi possível graças a união de forças entre instituição de ensino e iniciativa privada. A proposta do projeto deu-se de forma que a empresa suporta-se os alunos e cede-se algumas unidades de suas luminárias industriais High Bay em troca de ideias concretas para eventuais melhorias de seus produtos.

Trata-se, portanto, de um estudo de caso, o foco deu-se na investigação acerca do mercado de luminárias High Bay propondo desenvolver uma iniciativas de melhoria em certos aspectos de funcionamento destes dispositivos, para por fim, se tecer algumas considerações finais acerca do potencial de mercado de uma luminária inteligente visando a implementação e produção em série destes sistemas pela Potenze iluminação LED.

O desdobramento do projeto se deu primeiramente pela pesquisa de mercado focada em entender quais eram as soluções de luminárias High Bay disponíveis no mercado e seus diferenciais a fim de entender se havia alguma fabricante capaz de oferecer luminárias com capacidades além das convencionais. A pesquisa foi de grande utilidade pois através dos resultados pode-se comprovar as lacunas evidentes de mercado no que se refere a luminárias inteligentes, apenas um fabricante oferecia a possibilidade de conexão de seus dispositivos de iluminação a Internet.

Após este contato inicial com o tema partiu-se para um Brainstorm a respeito de como se poderia conceber uma ideia inicial de dispositivo de iluminação atrativo tecnologicamente e financeiramente, resultando em uma resolução pautada pela utilização de materiais amplamente comercializados pela nata da indústria de chips Chinesa, o que possibilitaria um diminuição considerável no custo do projeto sem deixar de lado o fator qualidade. Já neste estágio de maturação das ideias evidenciou-se a necessidade do levantamento de cenários ou propostas técnicas, documentos elaborados com foco em demonstrar possíveis caminhos para concepção e então prototipação de uma solução competitiva a nível de mercado.

Os resultados foram três propostas técnicas envolvendo 3 níveis de prototipação distintos, sendo a primeira denominada Standard, englobando funcionalidades mais próximas dos requisitos já atendidos pelas luminárias High Bay convencionais de prateleira, no entanto com a possibilidade de conexão a Internet e telemetria. A segunda chamada Plus, onde foram incluídas todas as funcionalidade de uma luminária Standard mais a possibilidade de medição de temperatura, umidade e presença no ambiente. O escopo da terceira e última proposta compunha-se de todas as funcionalidades de uma luminária plus mais a possibilidade da inclusão de mais um sensor da escolha do cliente (gases nocivos, pressão, dentre outros), valendo ressaltar que em todas as propostas foi levado em consideração a premissa da

inclusão de telemetria, portanto em todas as propostas o requisito de controle via aplicativo móvel, sistema supervisório, deveria ser atendido.

Ao final da definição dos possíveis cenários iniciou-se o desenvolvimento do projeto propriamente, com vistas a concepção de algo concreto, que viria a ser um protótipo capaz de executar todas as funcionalidades atribuídas à proposta escolhida como piloto, a proposta Plus.

2. LUMINÁRIAS HIGH BAY

As luminárias industriais High Bay LED são dispositivos voltados para a iluminação de espaços amplos, instalações com pé direito alto podendo chegar de 6 a 25 metros (LUTERLED, 2020). Geralmente essas luminárias, como mostra a **figura 1**, apresentam um alto grau de proteção (IP ingress protection) sendo compostas geralmente de um invólucro em alumínio fundido que tem como principal função assegurar a estanqueidade do dispositivo bem como auxiliar na dissipação do calor gerado pelo driver de potência, sendo este geralmente acoplado junto deste invólucro. Já os LEDs são usualmente soldados em placas de metal core e enclausurados no invólucro de alumínio.

Figura 1 - Luminária High Bay Potenze



FONTE: (POTENZE, 2022)

A grande diferença das luminárias High Bay frente às luminárias fluorescentes, vapor de sódio e vapor metálico é que estas últimas são em sua maioria omnidirecionais, portanto a luz refletida 360° iluminava pontos não necessários gerando desperdício (LUTERLED, 2020). Com o surgimento dos LEDs, bem como de lentes reflexivas foi possível alcançar uma alta uniformidade luminosa sem deixar de lado a distribuição da luz em ângulos de 90, 120 e até 180 graus, proporcionando uma versatilidade inigualável junto de um aproveitamento muito maior da luminosidade. As principais aplicações desta luminárias incluem (LUTERLED, 2020):

- Armazéns logísticos;
- Fábricas;
- Centros esportivos;
- Hangares de aeroportos;
- Depósitos de materiais.

3. PROTOTIPAÇÃO

Protótipos são modelos iniciais para produtos que, sujeitos a testes, buscam atender a necessidade de um cliente (DICIO, 2019). Sendo uma noção aplicada nas mais diversas áreas do conhecimento, a concepção de um protótipo geralmente envolve objetivos genéricos e não muito claros que geralmente pressupõem a necessidade da concepção de um projeto para uma eventual elucidação e validação dos requisitos.

No contexto do projeto de aprimoramento de uma luminária High Bay não foi diferente. Adotou-se uma resolução geral de que haveria não somente o desenvolvimento inicial do projeto mas também a fabricação de um protótipo, onde o escopo de trabalho englobaria a realização do controle de potência das luminárias através de sinais *PWM* (*Pulse Width Modulation*) recebidos de uma plataforma microcontrolada, sendo que tais sinais deveriam ser enviados de acordo com a leitura de luminosidade do ambiente, dada por sensores, visando o mínimo desperdício de energia.

Ademais, as luminárias deveriam ser capazes de conectar-seumas às outras com a condição de que se realizasse o controle à distância através de desktop ou smartphone, implicando por sua vez na conexão das luminárias com a internet e no envio e armazenamento de dados em nuvem. Em resumo, os requisitos iniciais do projeto foram:

- Controle PWM: O drive de controle das luminárias deveria ser manipulado via sinais PWM enviados de um microcontrolador;
- Dimerização: As luminárias deveriam ser dimerizáveis e está dimerização teria que necessariamente ser realizada de forma automática através da leitura do sensor de luminosidade e opcionalmente de forma manual através de um sistema supervisório;
- Telemetria: As luminárias deveriam ser capazes de interconectar-se umas com as outras bem como enviar dados de forma remota (sem a necessidade de cabeamentos);
- Sistema supervisório: As leituras dos sensores devem ser apresentadas em um sistema supervisório. O sistema deverá ser desenvolvido tanto como um aplicativo WEB (World Wide Web) quanto como um aplicativo móvel, possibilitando além da leitura dos valores medidos pelos sensores a manipulação das luminárias;
- Compatibilidade: As luminárias deveriam ser capazes de controlar luminárias de outros fabricantes através de um sinal analógico padrão 0 a 10V(Volts);
- Instrumentação: As luminárias deveriam ser necessariamente capazes de medir a luminosidade do ambiente, de maneira desejável a detecção de presença e opcionalmente variáveis como temperatura, umidade, gases nocivos, pressão, som, dentre outras.

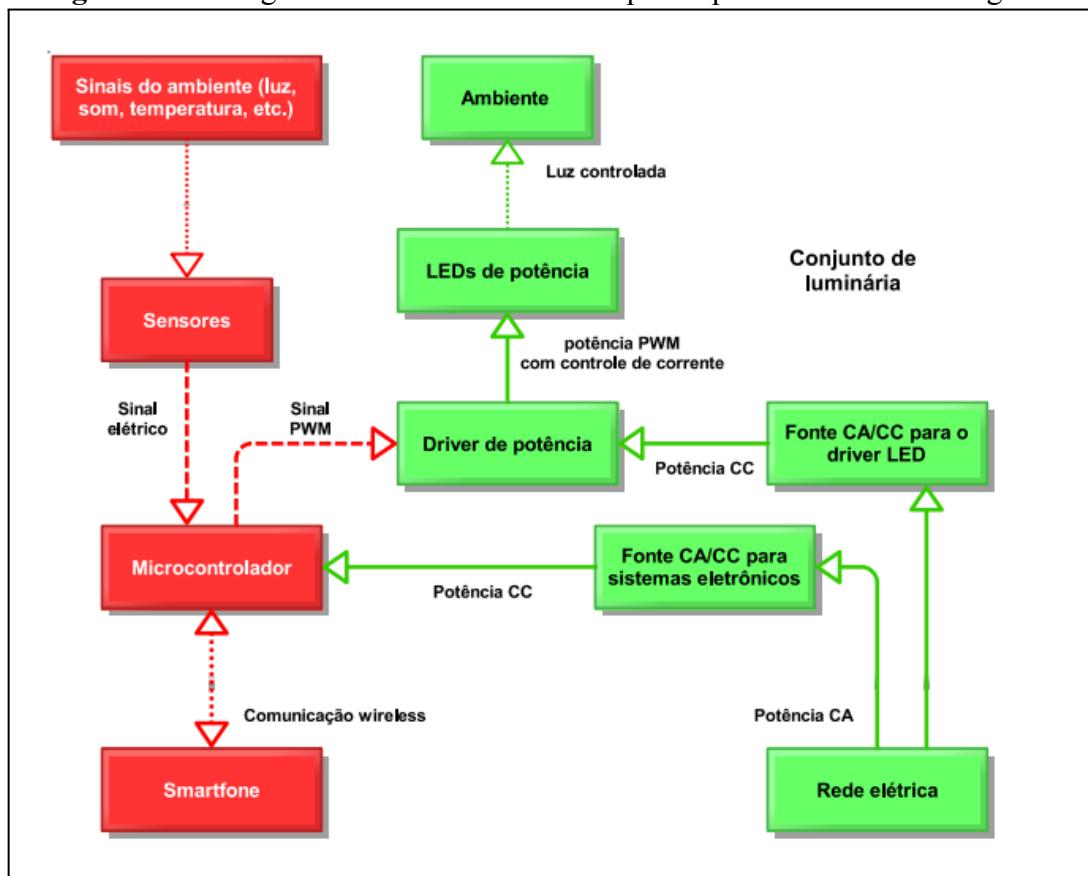
Após o levantamento dos requisitos iniciais do protótipo, foi oportuno a elaboração de uma representação gráfica do projeto de forma a exibir de maneira holística o esquema de funcionamento do protótipo. Assim, foi criado o fluxograma demonstrado na **figura 2** abaixo onde os quadrados verdes representam o escopo de trabalho relacionado a eletrônica de potência e os quadrados vermelhos representam o escopo relacionado ao desenvolvimento do hardware de controle e software, de forma o funcionamento da luminária se baseia pela

entrada do sistema que nada mais é do que os “sinais do ambiente” (Luz, Temperatura, umidade, pressão, presença).

De acordo com a detecção desses sinais realizada pelos sensores é enviado um determinado nível de sinal elétrico à plataforma microcontrolada, que por sua vez emitirá um sinal PWM de forma proporcional ao valor lido.

O papel por trás da geração do sinal PWM relaciona-se ao controle do driver de potência, dispositivo este responsável por manter o nível de potência e por conseguinte a luminosidade emitida pelos LEDs sempre em uma mesma faixa, determinada pela leitura dos sensores e pelo valor configurado via sistema supervisório ou aplicativo móvel (Conforme figura 2).

Figura 2 - Fluxograma de funcionamento do protótipo de luminária inteligente



FONTE: (Elaborado pelos autores, 2022)

Definida a arquitetura de funcionamento da luminária se deu também o processo de definição de que materiais e tecnologias seriam utilizadas no processo de prototipação. A começar pelo “coração” ou “cérebro” do projeto, a plataforma microcontrolada. Nestas circunstâncias, necessariamente seria necessária uma plataforma capaz de estabelecer uma comunicação com a internet considerando uma eventual comunicação com software voltados a processamento e armazenagem de dados. A partir destes pré requisitos foi concluído de imediato que o microcontrolador a ser utilizado seria o chip desenvolvido pela companhia chinesa Espressif , a ESP32, devido aos seguintes motivos:

- Alta oferta: Tanto o chip quanto a placa de desenvolvimento podem ser facilmente encontrados para compra na grande maioria das plataformas de ecommerce, como Mercado Livre, Eletrogate, Usinainfo, dentre outras;
- Vasta documentação: O hardware apresenta uma vasta documentação disponível, bem como uma grande comunidade de desenvolvedores que contribuem frequentemente na resolução e reporte de problemas;
- Ampla quantidade de bibliotecas: existe um gama muito grande de bibliotecas de software grátis, disponíveis para uso imediato e para os mais variados tipos de sensores e aplicações poupano tempo dos desenvolvedores o que é ainda mais pertinente se tratando de prototipação;
- Compatibilidade com as plataformas de desenvolvimento: O chip não deixa de ser compatível com as principais plataformas de desenvolvimento de software como a IDE (Integrated development environment) Arduino e o Microsoft Visual Studio Code.

3.1. PLACA DE DESENVOLVIMENTO ESP32

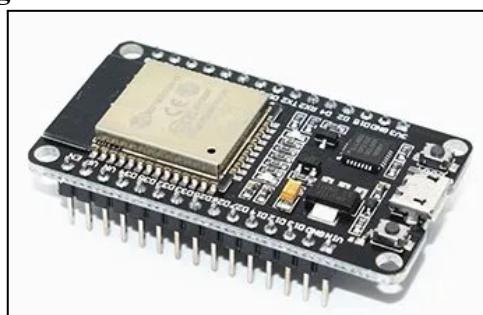
A placa de desenvolvimento ESP32 (**figura 3**) oferece conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrada para uma ampla gama de aplicações com baixo custo e baixo consumo de energia (ESPRESSIF, 2022). Dentre as diversas funções que o microcontrolador oferece, as principais utilizadas no projeto foram:

Quadro 1- Atributos da ESP32 utilizados no protótipo

ATRIBUTO	DESCRIÇÃO
Wi-Fi Station	Capacidade de o chip se conectar via Wi-Fi
Wi-Fi mesh	Interconexão entre vários ESPs sem a necessidade de rede IP
Comunicação SPI, I2C e UART	Protocolos para leitura de sensores
Leitura Analogica/Digital	Medir variações de tensão transmitidas de sensores
Controle de portas Digitais	Alterar estado de portas para Alto/Baixo

FONTE: (ESPRESSIF, 2022)

Figura 3- Placa de desenvolvimento ESP32

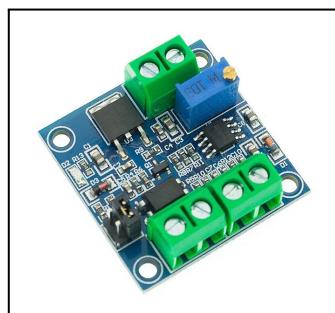


FONTE: (ETECHNOPHILES , 2022)

3.2. MÓDULO CONVERSOR

Após a escolha da plataforma microcontrolada a ser utilizada, partiu-se para a definição de como seria desenvolvido o requisito da funcionalidade de controle de luminárias comerciais de outros fabricantes. Partindo-se da premissa que se teria apenas 6 meses para desenvolver o projeto, realizou-se uma pesquisa de mercado a fim de buscar módulos de controle comerciais que atendessem o requisito de controle analógico 0 à 10v, ao invés de desenvolver o módulo do zero, o que por conseguinte levaria muito mais tempo. Assim, chegou-se em uma solução de mercado comercializada pela MasterWalke Shop, modelo demonstrado na figura abaixo:

Figura 4 - Módulo conversor 0 a 10v MasterWalke Shop



FONTE: (MASTERWALKE SHOP, 2022)

O Módulo Conversor de Sinal PWM para Tensão Analógica de 0-10V é uma placa que tem como finalidade converter um sinal PWM para tensão analógica de 0 a 5V ou 0 a 10V (MASTERWALKE, 2022).

3.3. SENSOR DE LUMINOSIDADE

O sensor de luminosidade utilizado foi o BH1750 (**figura 5**). Este sensor é capaz de captar pequenas variações de luz, propondo um ajuste mais eficaz da iluminação comparado a sensores comumente utilizados na medição de luz, como o sensor LDR (Lighting Emitting Resistor) (MINATEL,2017). A verificação da luminosidade propagada no ambiente permite o controle automático de intensidade da iluminação através da variação de um sinal PWM em função do valor de luminosidade lido. Este sistema pode inclusive compensar a luz natural em determinadas horas do dia, além de proporcionar economia de energia devido a diminuição da potência aplicada à luminária, bem como promovendo um maior conforto aos olhos (LUMICENTER,2018). Segundo as Normas Brasileiras NBR 5413 e NBR 8995-1 na seção referente à indústria elétrica, fica estabelecido que o ambiente deve manter 1500 lux de iluminação. Em linhas gerais, em galpões que não demandam trabalho visual criterioso, um bom número de referência é 750 lux.(GRUPOMB,2017).

Figura 5- Módulo sensor de luminosidade BH1750



FONTE: (ELETROGATE, 2022)

Dentre as principais características deste Módulo, pode-se citar:

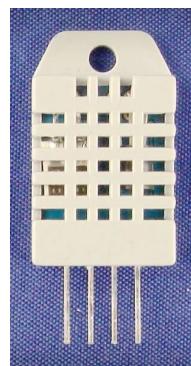
- Modelo: BH1750;
- Range de medição que vai de 0 a 65000 lux;
- Alimentação 3,3 a 5VDC;
- Resolução do ADC: 16 bits;
- Dimensões: 14mm(L) X 8mm(A) X 19mm(C);
- Interface de comunicação: I2C;
- Peso: 1g;

3.4. SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE

O DHT22 (**figura 6**) é um sensor de temperatura e umidade, utiliza-se um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir o ar circundante, e emite um sinal digital no pino de dados, sendo sua taxa de atualização de 2 segundos.

O sensor foi aplicado no projeto para garantir uma amostragem de dados comparativa do ambiente do local de instalação da luminária, visando o monitoramento destes e uma rápida detecção de possíveis falhas de superaquecimento e eventos os quais poderiam afetar a integridade da luminária.

Figura 6 - Módulo sensor de temperatura DHT22



FONTE: (LIU, 2022)

Quadro 2- Principais atributos técnicos do DHT22

Tensão de alimentação	3.3-6V CC
Sinal de saída	Sinal digital via single-bus
Faixa de operação	Umidade 0-100%RH Temperatura -40~80C
Precisão	Umidade +-2%RH; Temperatura <+-0,5C
Consumo de corrente	Stand-by 40uA Medindo 1mA

FONTE: (THOMAS LIU, 2022)

3.5 REGULADOR DE TENSÃO

O módulo regulador de tensão LM2596 (**figura 7**), atua no modo step-down e é um conversor DC-DC muito utilizado para protótipos que necessitem de regulagens precisas e ajustáveis com proteção. No caso, foi utilizado este modelo para converter a tensão vinda da fonte de 12v (entrada) para 5v (saída), e com isso, alimentar ambas ESP-32 junto a todos outros componentes presentes no projeto.

Quadro 3- Características técnicas e elétricas do LM2596

Tensão de entrada	3,8 V e 32 V
Tensão de saída	1,25 V e 35 V
Frequência de chaveamento	400 kHz
Eficiência	<94 %
Corrente corrente de saída	3 A máximo

FONTE: (FILIPFLOP, 2022)

Figura 7 - Módulo conversor de tensão buck boost ajustável



FONTE: (ALIEXPRESS, 2022)

3.5. ESP32-CAM

A ESP-32CAM (**figura 8**) pode ser considerada uma derivação da ESP32, a qual apresenta o mesmo chip e uma câmera integrada via terminal flat como adicional, além de uma entrada para cartão SD e um led de alto brilho. Ela possui velocidade de processamento alto para garantir imagens de câmera em tempo real. Algumas das suas principais especificações são:

- Alimentação de 3,3v ou 5v;
- Consumo de corrente mínima de 6 mA e máxima 310 mA.
- Suporte para câmera OV2640 (2 MP);
- SPI Flash: default 32Mbit;
- RAM: built-in 520 KB+external 4MPS RAM ;
- Suporte Interface: UART, SPI, I2C, PWM;
- Suporte cartão SD: maximum support 4G
- Serial Port Baud-rate: Default 115200 bps;
- Portas I/O: 9;

Figura 8 - ESP32-CAM



FONTE: (DFROBOT - 2022)

Considerando várias possibilidades de aplicação para inserir um sistemas de sensoriamento de presença no desenvolvimento do protótipo, foi utilizado a ESP-32CAM como dispositivo de baixo custo que garanta a detecção precisa, mesmo com longas distâncias de profundidade, no caso altura das luminárias com relação ao chão, e isso foi possível através da biblioteca “*EloquentArduino*” (**figura 9**), que possibilita ajustar parâmetros da câmera para estabelecer uma comparação entre imagens subsequentes, ou seja, possibilita detectar movimento.

Figura 9 - Biblioteca para o uso da Câmera como detector de movimento

The screenshot shows the Arduino IDE's library manager window. At the top, there is a search bar with the text "eloquent". Below it, a list of libraries is shown. One library, "EloquentArduino" by Simone Salerno, Version 2.1.3, is listed as "INSTALLED". The description below the library name reads: "An eloquent interface to common Arduino patterns, data structures and algorithms Follow the project at eloquentarduino.com". There are "Selecionar versão" and "Instalar" buttons. Below the library list, the Arduino IDE's main workspace is visible, showing a sketch titled "ESP-32CAM_MotionDetection". The code in the workspace includes #include "eloquent.h", #include "eloquent/vision/motion/naive.h", #include "eloquent/vision/camera/esp32/aithinker/grayscale/qqvga.h", and defines for width and height.

```
#include "eloquent.h" //Bibliotecas utilizadas
#include "eloquent/vision/motion/naive.h"
#include "eloquent/vision/camera/esp32/aithinker/grayscale/qqvga.h" // Resolução da cam
#define largura_Cam 160 //Resolução de operação (Aumentar implica em melhor detecç
#define altura_Cam 120
```

FONTE:: Elaborado pelos autores (2022)

4. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Software é um produto virtual, que consiste essencialmente em um conjunto de códigos – instruções escritas em determinada linguagem de computação (FIA, 2019). Entretanto, o processo de desenvolvimento de software vai muito além somente de escrever instruções, trata-se do processo de conceber, especificar, estruturar, programar, documentar e testar estas instruções, também chamadas de código ou programa (WIKIPÉDIA, 2022).

No contexto do protótipo de luminária inteligente ocorreu mais de uma etapa de desenvolvimento, onde para cada peça de Hardware⁶ envolvido fez-se necessário a programação de instruções específicas e determinísticas da função a ser desempenhada por este último. Assim, com exceção das etapas de documentação e teste, utilizou-se da plataforma de desenvolvimento Arduino também chamada de IDE (Integrated Development Environments) Arduino em todas as etapas de desenvolvimento do programa.

4.1. SOFTWARE EMBARCADO NO MICROCONTROLADOR DE CADA LUMINÁRIA

O software desenvolvido em linguagem C++, utilizado no controle do microcontrolador embarcado em cada luminária está disponível no hiperlink descrito pelo QR (quick response) code abaixo, que direciona ao repositório onde está armazenado o código implementado no microcontrolador de cada luminária.

Figura 10 - QR Code para programação



FONTE: AUTORAL

4.2. SOFTWARE EMBARCADO NO MICROCONTROLADOR RECEPTOR

O software desenvolvido em linguagem C++, utilizado no controle do microcontrolador em cargo do recebimento e repasse das informações recebidas das luminárias via rede mesh está disponível no hiperlink descrito pelo QR (quick response) code abaixo, que direciona ao repositório onde está armazenado não só o código como demais informações pertinentes ao entendimento do projeto.

⁶ Na eletrônica, o Hardware consiste em componentes eletrônicos interconectados que executam operações analógicas ou lógicas em informações recebidas e armazenadas localmente para produzir como saída ou armazenar novas informações. O hardware é normalmente direcionado pelo software para executar qualquer comando ou instrução (WIKIPÉDIA, 2022).

Figura 11 - QR Code para programação



FONTE: AUTORAL

4.3. SOFTWARE EMBARCADO NO MICROCONTROLADOR SENSOR DE PRESENÇA

O software desenvolvido em linguagem C++, utilizado no controle do microcontrolador ESP32 CAM utilizado como sensor de presença está disponível no hiperlink descrito pelo QR (quick response) code abaixo, que direciona ao repositório onde está armazenado não só o código como demais informações pertinentes ao entendimento do projeto.

Figura 12 - QR Code para programação



FONTE: AUTORAL

4.4. SOFTWARE PARA COMUNICAÇÃO ENTRE ESP RECEPATORA E COMPUTADOR

O software desenvolvido em linguagem Python, utilizado no controle do microcontrolador em cargo do recebimento e repasse das informações recebidas das luminárias via rede mesh está disponível no hiperlink descrito pelo QR (quick response) code abaixo, que direciona ao repositório onde está armazenado não só o código como demais informações pertinentes ao entendimento do projeto.

Figura 13 - QR Code para programação



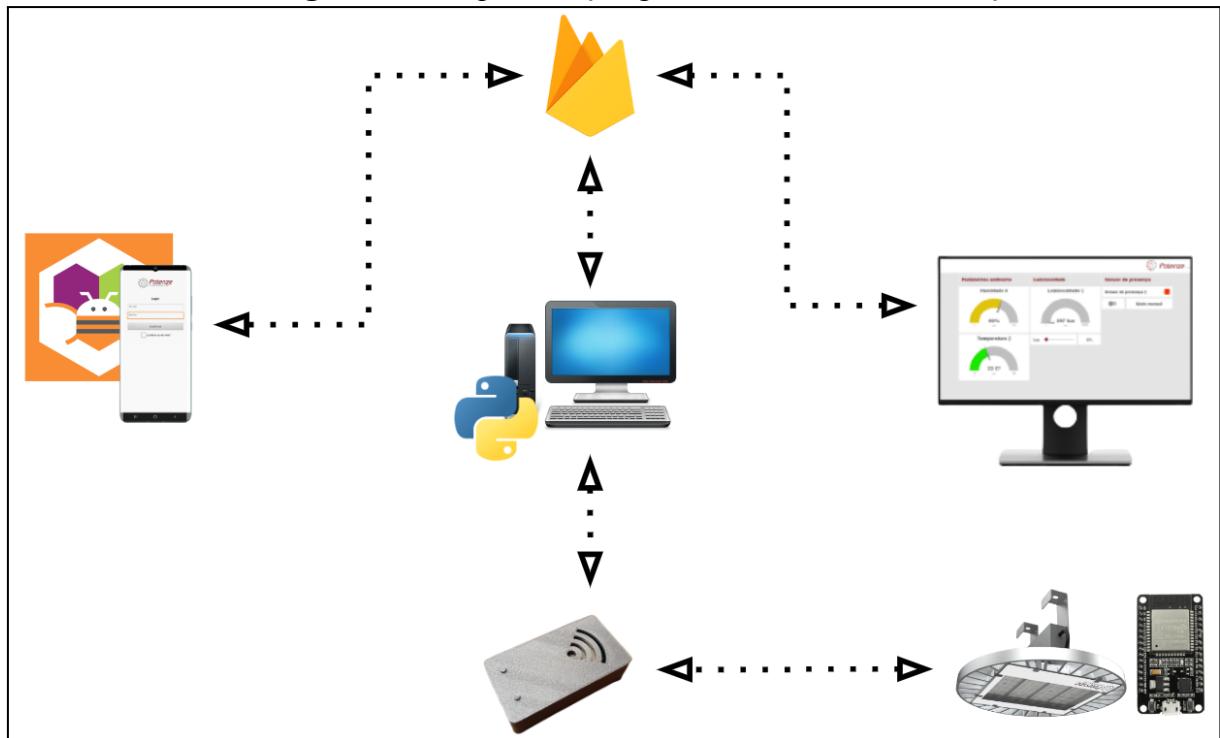
FONTE: AUTORAL

5. COMUNICAÇÃO DO DISPOSITIVO

Na conexão entre as luminárias inteligentes utilizou-se o protocolo Wi-Fi ESP Mesh a ser explorado a seguir. Para autenticação do usuário, armazenamento e controle dos estados das lâmpadas foi utilizado o Firebase, para o uso de dashboards e a conexão entre o Firebase o hardware foi utilizado o Node Red, para visualização remota foi desenvolvido uma interface mobile através do ambiente de programação MIT inventor, onde é possível controlar as lâmpadas e visualizar os estados dos sensores, valendo ressaltar que todas essas ferramentas serão exploradas com maior detalhe no decorrer das próximas páginas.

Na **figura 14** é possível visualizar de maneira sistêmica o fluxo da informação no projeto, desde as luminárias até os aplicativos que fazem interface com o usuário.

Figura 14 - Representação gráfica do fluxo da informação



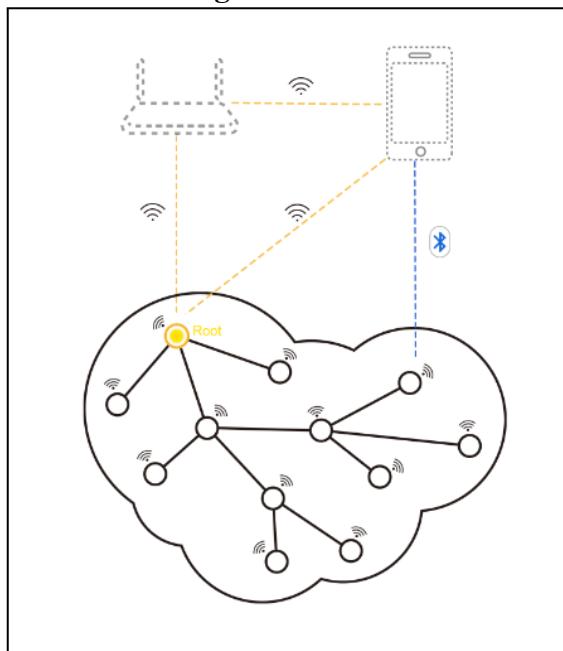
FONTE: AUTORAL

5.1. COMUNICAÇÃO ENTRE LUMINÁRIAS

A fim de realizar a comunicação sem fio entre as luminárias utilizou-se do protocolo ESP-WIFI-MESH, sendo este uma rede de comunicação sem fio com nós organizados em uma topologia de malha usando o recurso AP-STA simultâneo em Espressif SoCs. Ele fornece uma rede de autoformação e autocorrecção, com facilidade de implantação. A topologia de rede do ESP-WIFI-MESH pode escalar até 1000 nós em grandes áreas, sem exigir qualquer suporte específico de infraestrutura Wi-Fi. O ESP-WIFI-MESH também pode ser usado para cobrir pontos cegos Wi-Fi em cenários de implantação doméstica onde o sinal Wi-Fi não pode ser alcançado. (ESPRESSIF, 2020).

A figura abaixo (15) ilustra a comunicação entre os sistemas via protocolo MESH com malha em teia de aranha, para demonstrar seu campo de operação funcional.

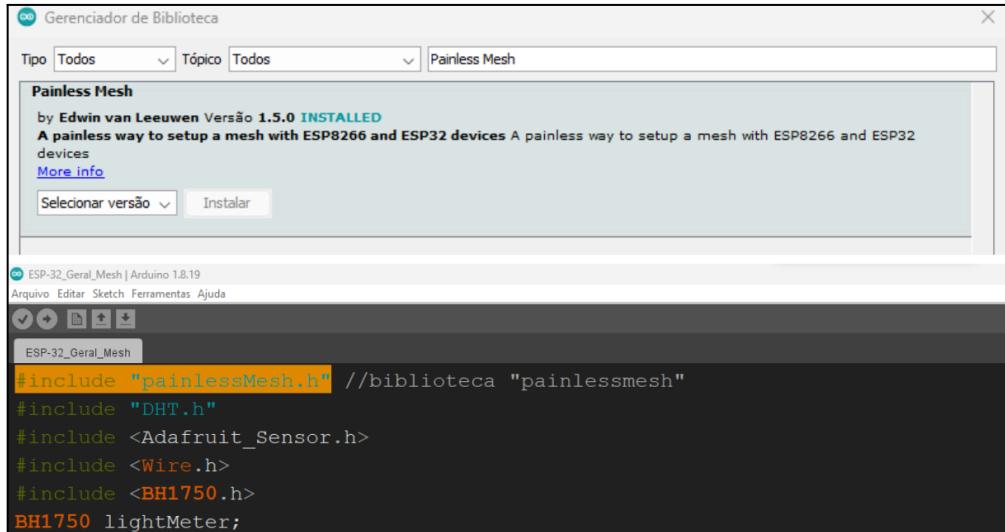
Figura 15 - Rede mesh



FONTE: (ESPRESSIF, 2022)

Para a utilização deste protocolo junto a placa de desenvolvimento ESP32, foi necessário implementar no software das luminárias a biblioteca disponibilizada no próprio gerenciador IDE do arduino, cujo nome é "*Painless Mesh*", conforme demonstrado na **figura 16**.

Figura 16 - Biblioteca para o uso do protocolo Mesh na IDE do Arduino



FONTE: (AUTORAL , 2022)

5.2. FIREBASE

O Firebase é uma plataforma WEB de desenvolvimento que auxilia na criação de aplicativos em dispositivos móveis, através de um conjunto de ferramentas de construção como: “Authentication”, “Realtime Database”, “Cloud Firestore”, “Cloud Storage”, “Cloud Functions”, “Firebase Hosting”, “ML Kit”. Dentre todas ferramentas citadas, duas foram utilizadas no desenvolvimento do protótipo, são elas:

- Autenticação - Responsável por estabelecer o controle absoluto de permissões via email/senha cadastrados no sistema, para acessar todos as luminárias;
- Database em Tempo Real - Banco de dados, onde todas variáveis são separadas conforme sua luminária correspondente e todas são abertas a gets e sets de usuários que possuam permissão ou a chave mestra para manipulá-las.

A figura abaixo (17) demonstra a tela de autenticação do Firebase, onde é possível visualizar todos os usuários cadastrados no aplicativo, exibindo também suas credenciais, como e-mail e senha.

Figura 17 - Layout de Autenticação no Firebase

The screenshot shows the Firebase console's Authentication section. On the left sidebar, 'Authentication' is selected under 'Realtime Database'. The main area is titled 'Authentication' and contains tabs for 'Users', 'Sign-in method', 'Templates', 'Usage', and 'Settings'. A search bar at the top allows searching by email, phone number, or user ID. Below the search bar is a table listing four users:

Identificador	Provedores	Data de criação	Último login	UID do usuário
kalebebm@gmail.com	[Email icon]	28 de out. d...	12 de nov. d...	bhvWwjjz9YpQqCbYhp04gElzMr1
joao.barioni 2002@gmail.c...	[Email icon]	26 de out. d...	26 de out. d...	Z9D3dihReMNSTxwtSlQa5XpGZ2
joaogabriel.cheutchuk@g...	[Email icon]	26 de out. d...	29 de out. d...	FHAoZ6x8OFRtivz0yK7XtHW7lf1
douglas.oliveiras2210@gm...	[Email icon]	24 de out. d...	30 de out. d...	YYWIx64Q1EdkBTWQcPcqj0Rjjm1

At the bottom right of the table, there are buttons for 'Linhas por página:' (50), '1 – 4 of 4', and navigation arrows.

FONTE: AUTORAL

Na **figura 18** pode se visualizar a tela inicial da ferramenta “Realtime Database” (Database em Tempo Real) onde são exibidos 5 luminárias (L1, L2, L3, L4, L5), de forma que ao se clicar em qualquer uma das luminárias um conjunto de variáveis é apresentado, como temperatura, umidade, luminosidade. Nesta ferramenta também é possível verificar a leitura dos sensores em tempo real,

Figura 18 - Layout do Database em Tempo Real no Firebase

The screenshot shows the Firebase console's Realtime Database section. On the left sidebar, 'Realtime Database' is selected under 'Realtime Database'. The main area is titled 'Realtime Database' and contains tabs for 'Dados', 'Regras', 'Backups', and 'Uso'. A URL input field at the top contains 'https://jornadasextoperiodo-default.firebaseio.com'. Below the URL is a tree view of database references:

```

https://jornadasextoperiodo-default.firebaseio.com/
  +-- L1
  +-- L2
  +-- L3
  +-- L4
  +-- L5
  
```

At the bottom left, there is a note: 'Local do banco de dados: Estados Unidos (us-central)'. At the very bottom left, the URL 'https://console.firebaseio.google.com/u/0/' is visible.

FONTE: AUTORAL

6. DESENVOLVIMENTO DAS INTERFACES COM USUÁRIO

Em todo o desenvolvimento das interfaces com usuário, tanto do aplicativo como do sistema supervisório buscou-se a utilização de conceitos de UX Design⁷ (User Experience, Design da Experiência do Usuário) e UI Design⁸ (User Interface, Design da Interface com o Usuário) de forma a promover a melhor interação possível do usuário do protótipo com o protótipo em si. Os principais conceitos de ambos que foram levados em consideração no desenvolvimento de ambas as interfaces foram:

- Funcionalidades intuitivas;
- Paleta de cores agradáveis ao usuário;
- Paleta de cores de acordo com a identidade visual da Potenze;
- Iconografia adequada;

6.1. PLATAFORMA NODE RED

Node Red trata-se de uma linguagem de programação low code⁹, orientada a eventos capaz de conectar dispositivos de Hardware, APIs (Application Programming Interface) e serviços online (NODE RED, 2022). Esta ferramenta oferece uma página WEB para criação e edição dos códigos, que são chamados de flows (fluxos). Os blocos de programação são denominados nodes (nós), existindo nós para as mais variadas aplicações como criação de dashboards, interligações entre bancos de dados e dashboards, aplicações de mensageria com telegram, dentre outros. O ambiente de desenvolvimento do Node Red inicia com 30 nodes padrão, porém para o desenvolvimento de um supervisório se fez necessário importar outros conjuntos de palettes (paletas) nomenclatura dada aos conjuntos de nós, que são os que se seguem:

Quadro 4 - Paletas utilizados no desenvolvimento do Dashboard

PALETA	DESCRIÇÃO	MANTENEDORES	VERSÃO (21/11/2022)
node-red-contrib-firebase	Conjunto de 6 nodes utilizados na interação com o Firebase Realtime Database.	• deldrid1	1.1.1
node-red-dashboard	Conjunto de 21 nodes voltados à criação de dashboards.	• knolleary • dceejay	3.2.0

FONTE: AUTORAL

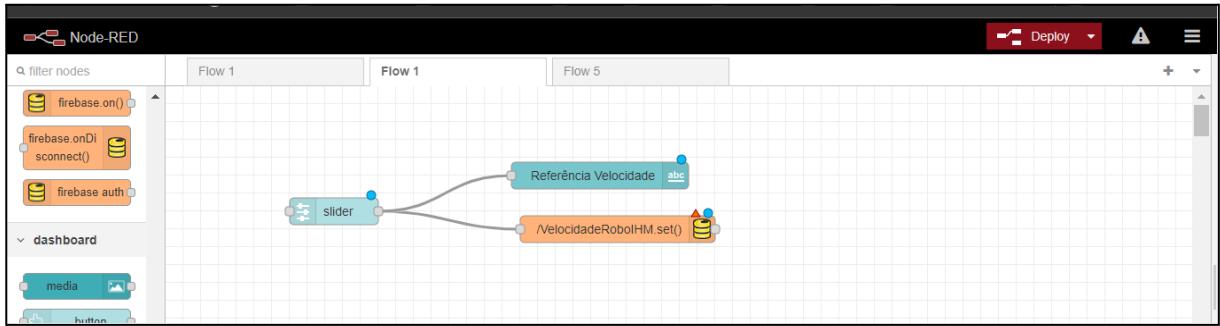
⁷ Experiência do usuário (EU), do inglês user experience (UX), é o conjunto de elementos e fatores relativos à interação do usuário com um determinado produto, sistema ou serviço cujo resultado gera uma percepção positiva ou negativa.(WIKIPEDIA, 2022).

⁸ No campo do design industrial da interação humano-computador , uma interface de usuário (UI) é o espaço onde ocorrem as interações entre humanos e máquinas.(WIKIPEDIA, 2022).

⁹ fornece um ambiente voltado ao desenvolvimento de software por meio de uma interface gráfica, geralmente através de blocos ou fluxogramas. As plataformas de desenvolvimento low code permitem a redução do tempo tradicionalmente gasto no desenvolvimento de uma aplicação, sendo muito pertinente principalmente no quesito prototipação.(WIKIPEDIA, 2022).

Os fluxos desenvolvidos através do Node Red permitem a inserção de blocos denominados de funções, onde é possível realizar o desenvolvimento de código em Javascript conforme **figura 19**. Ademais, tais fluxos também podem ser facilmente exportados ou importados como arquivo JSON (JavaScript Object Notation), facilitando no compartilhamento de código. O exemplo abaixo demonstra um pouco da lógica de funcionamento de um fluxo no Node Red, onde através da interligação dos nodes Slider, Firebase Modify e Text é criado um botão do tipo slider no dashboard que conforme sua variação é alterada uma variável corresponde no firebase através do node firebase modify, sendo esta variação indicada também no node Text.

Figura 19 - Fluxo para exemplificação do funcionamento do Node Red

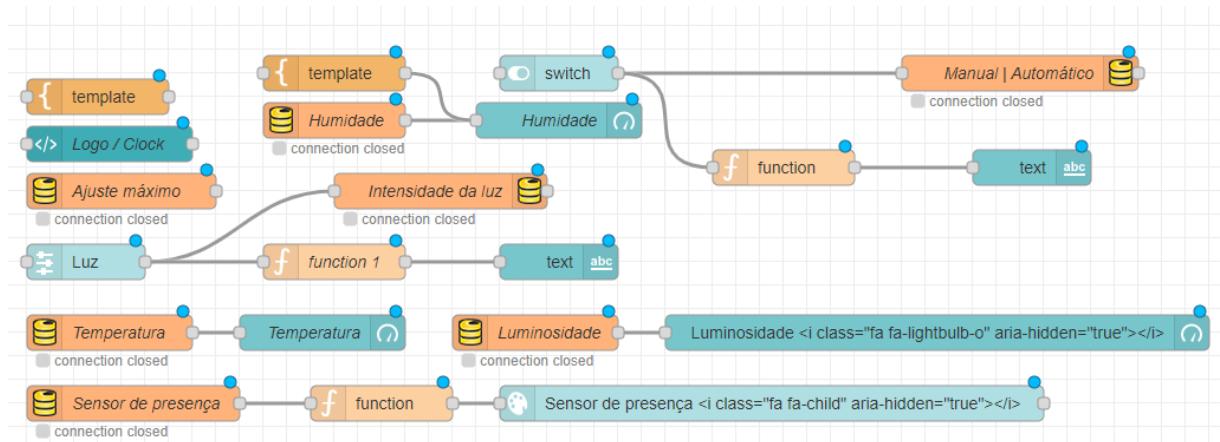


FONTE: AUTORAL

6.2. DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DO SUPERVISÓRIO

O desenvolvimento do aplicativo WEB se deu pelo uso da plataforma Node Red, fazendo-se uso das paletas citadas no último capítulo. A **figura 20** descreve a programação por trás da concepção dos dashboards que compõem o sistema, onde os nós em azul correspondem a todos os elementos gráficos da página e os alaranjados a comunicação com o banco de dados Firebase bem como a lógica de funcionamento do supervisório.

Figura 20 - Programação do sistema supervisório



FONTE: AUTORAL

O resultado do tempo investido no desenvolvimento do aplicativo WEB foi o supervisório demonstrado na **figura 21**, valendo a ressalva de que buscou-se permitir que o usuário realizasse um controle mais preciso das luminárias através do aplicativo móvel, ao

invés de através do computador, sendo este o motivo de algumas das funcionalidades do aplicativo móvel não terem sido incluídas no aplicativo WEB.

Figura 21 - Layout para inserir e organizar “componentes” no App Inventor.



FONTE: AUTORAL

Conforme citado anteriormente, a plataforma Node Red permite que o código desenvolvido por um programador possa ser facilmente compartilhado com outros através da funcionalidade de importação e exportação de fluxos. Assim sendo, para acesso ao código correspondente ao fluxo utilizado no desenvolvimento do dashboard demonstrado na **figura 21** basta escanear o QR code abaixo, que contém um hiperlink que direciona para um repositório onde está localizado um arquivo txt com o código do fluxo.

Figura 22 - QR Code para acesso ao código do supervisório



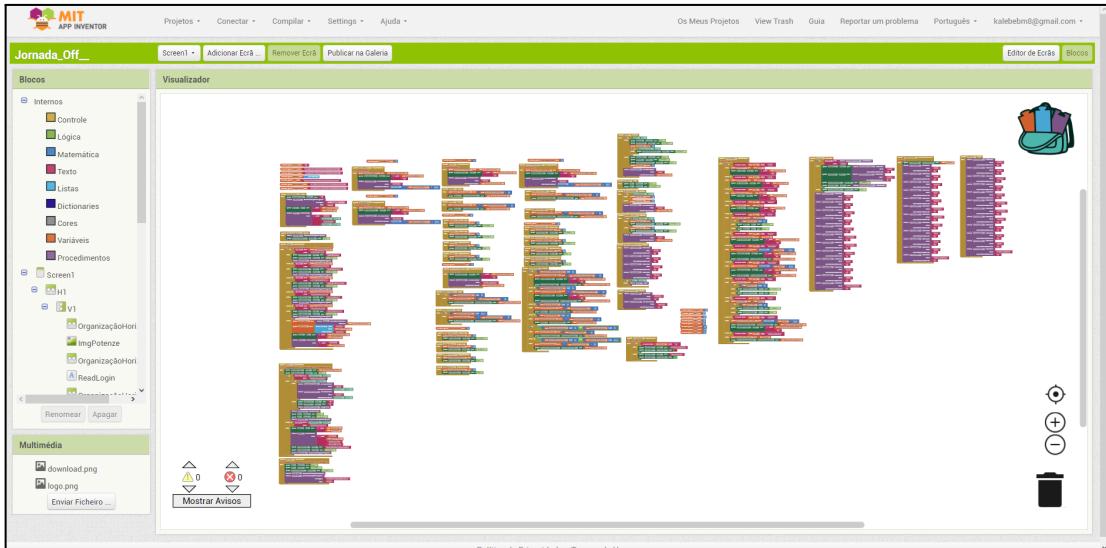
FONTE: AUTORAL

6.3. PLATAFORMA MIT INVENTOR

O MIT Inventor é considerado uma ferramenta de programação de código aberto desenvolvida pelo professor Hal Abeson, junto a uma equipe de programadores da *Google Education* (APPINVENTOR, 2022), ela permite o desenvolvimento de algoritmos através de blocos para facilitar a inserção de iniciantes na área e/ou ajudar no desenvolvimento de aplicações mais complexas em menos tempo, para criação de novos aplicativos em

dispositivos com sistema operacional Android, a **figura 23** demonstra uma visão macro de uma programação através do aplicativo Inventor.

Figura 23 - Layout da programação em blocos no App Inventor.

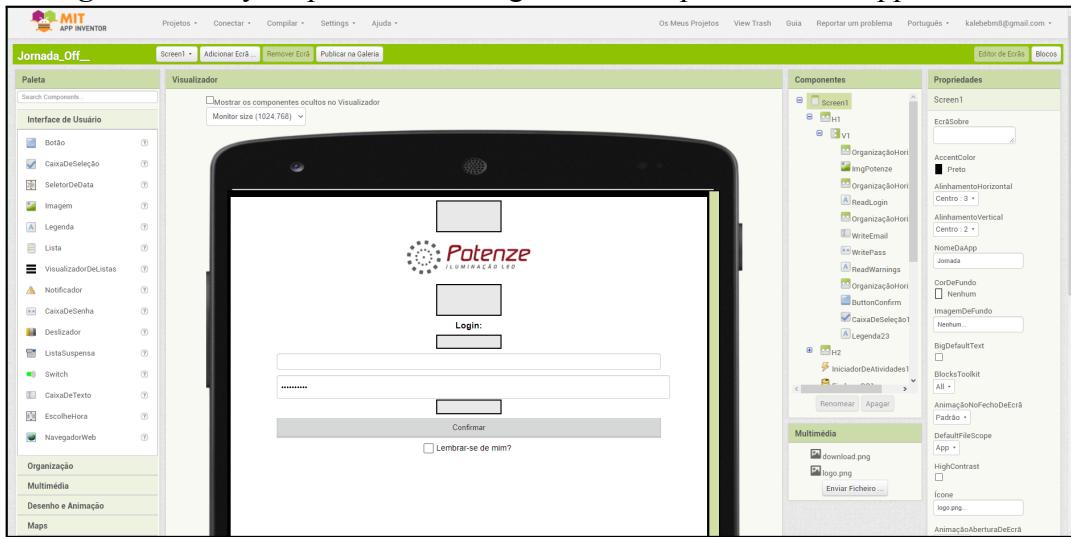


FONTE: AUTORAL

Considerando as informações apresentadas acima, optamos por escolher esta plataforma para desenvolver o aplicativo que atuará no controle da luminária.

Inicialmente foi necessário montar a interface de criação na aba de “*Designer*”, onde foi pensado a respeito do posicionamento de cada elemento e componente dentro do aplicativo para torná-lo o mais acessível possível, além de visualmente agradável. Posteriormente, na aba “*Blocks*”, foi elaborado o “back-end” de toda aplicação para torná-la funcional, foi trabalhado em cima do comportamento do aplicativo mediante todos componentes inseridos, através da lógica por trás do posicionamento dos blocos que remontam uma programação em Java. Além disso, o MIT Inventor também permite a simulação das telas do aplicativo ainda durante a fase de desenvolvimento, facilitando na prototipação do mesmo. A **figura 24** demonstra o tela inicial do simulador do MIT Inventor durante uma das fases de desenvolvimento do aplicativo móvel do protótipo.

Figura 24 - Layout para inserir e organizar “componentes” no App Inventor.



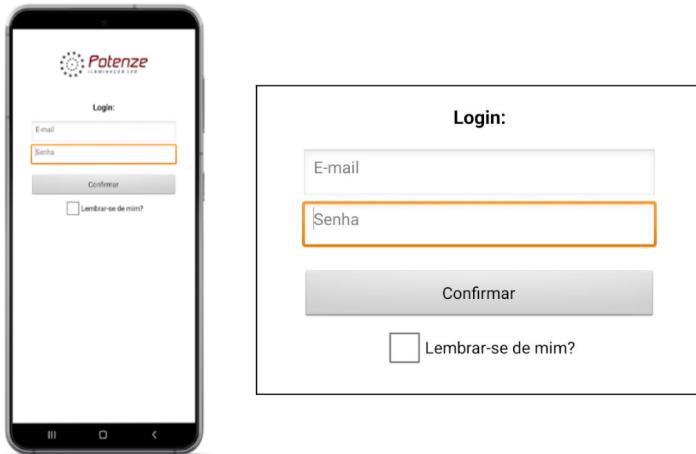
FONTE: AUTORAL

6.4. DESENVOLVIMENTO MOBILE

O aplicativo foi desenvolvido na plataforma do MIT Inventor e apresenta uma interface bem intuitiva e simples para fácil operação de qualquer usuário cadastrado.

Ao abrir o aplicativo, aparecerá dois campos de preenchimento conforme **figura 25**, onde um será para o email e o outro para senha, logo abaixo, haverá um botão de confirmação para verificar se todos dados conferem e, caso haja alguma inconformidade ou equívoco, uma legenda em vermelho aparecerá indicando qual a situação se deve atenção, há também, uma caixa de seleção sob o botão de confirmação, a qual permite que o aplicativo memorize (salve) seus dados para acessos posteriores ao aplicativo.

Figura 25 - Tela de autenticação do aplicativo



FONTE: AUTORAL

Após preencher os dados de usuário, cadastrado no sistema, corretamente e apertar em “Confirmar”, será redirecionado para a interface de controle das luminárias no aplicativo, o qual aparecerá várias opções de ajustes:

- **LUMINÁRIA:** Exibe uma lista suspensa para seleção de todas luminárias conectadas e configuradas, a fim de estabelecer conexão individual com cada;
- **MODO:** Ajuste do aplicativo para modo manual (controle por deslizador, **figura 26**) ou automático (sensores, **figura 27**) por um Switch;
- **CONTROLE DA INTENSIDADE:** Percentagem da saída de tensão PWM da ESP para controle de luminosidade da luminária por meio de um deslizador ou dois botões de ajuste sequencial, sendo visível apenas no modo manual.
- **TEMPO DE TRANSIÇÃO:** Tempo em segundos que a saída PWM leva para transicionar de 0 a 100% de tensão, através de dois botões (decréscimo e acréscimo);
- **TEMPERATURA:** Exibe em uma caixa de texto, a temperatura coletada pelo sensor na luminária e salvo no banco de dados do Firebase;
- **UMIDADE:** Exibe em uma caixa de texto, a umidade coletada pelo sensor na luminária e salvo no banco de dados do Firebase;
- **LUX:** Exibe em uma caixa de texto, o valor de lux coletada pelo sensor na luminária e salvo no banco de dados do Firebase;
- **MOVIMENTO:** Exibe em uma caixa de texto, o número “1” se houver detectado um movimento pelo sensor na luminária, caso contrário se manterá em “0”;

Figura 26 - Tela de controle modo manual.



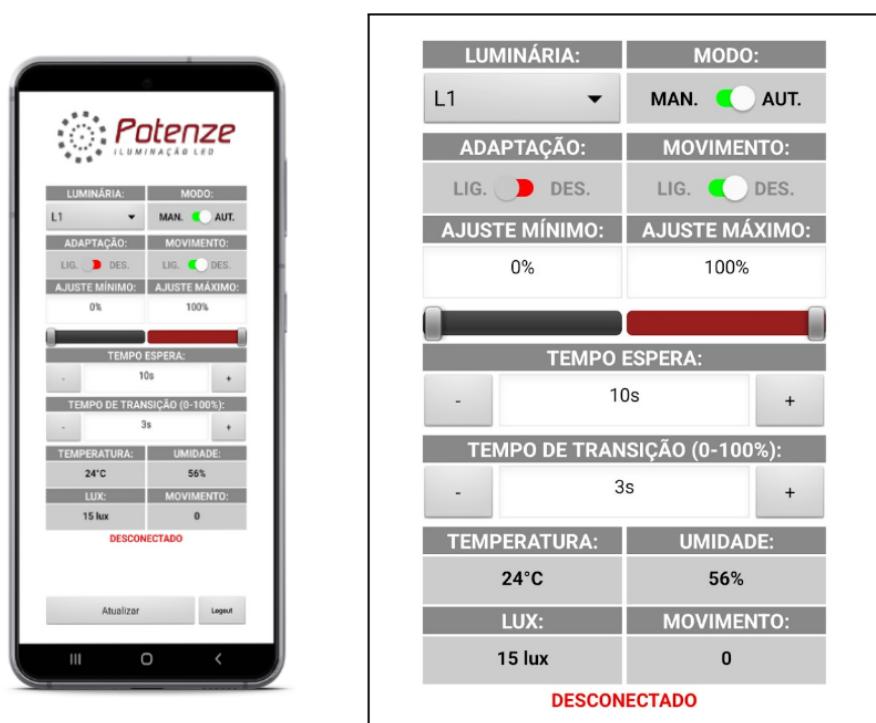
FONTE: AUTORAL

- **ADAPTAÇÃO:** Switch que liga ou desliga o ajuste da intensidade da luminária de forma autônoma, com base no lux coletado pelo sensor, para fins de otimização energética, quanto mais escuro estiver o ambiente, mais forte será a intensidade da luminária assim também como o inverso, somente presente no modo automático;
- **MOVIMENTO:** Switch que quando ligado determina que quando houver detecção de movimento pela câmera, a intensidade da luminária se ajustará até o seu limite máximo durante um tempo, até voltar para o seu estado inicial caso não haja mais detecções, somente presente no modo automático;

- **AJUSTE MÍNIMO:** Deslizador para ajustar o mínimo de intensidade da iluminação quando o modo estiver no automático;
- **AJUSTE MÁXIMO:** Deslizador para ajustar o máximo de intensidade da iluminação quando o modo estiver no automático;
- **TEMPO DE ESPERA:** Determina através de dois botões sequenciais, o tempo que manterá a intensidade no máximo após detectar movimento, será visível somente quando o modo de detecção estiver ativo;

No canto inferior central das demais opções já descritas, haverá um indicativo de conexão direta com as luminárias em tempo real, onde indicará “**CONECTADO**” ou “**DESCONECTADO**”.

Figura 27 - Tela de controle modo automático



FONTE: AUTORAL

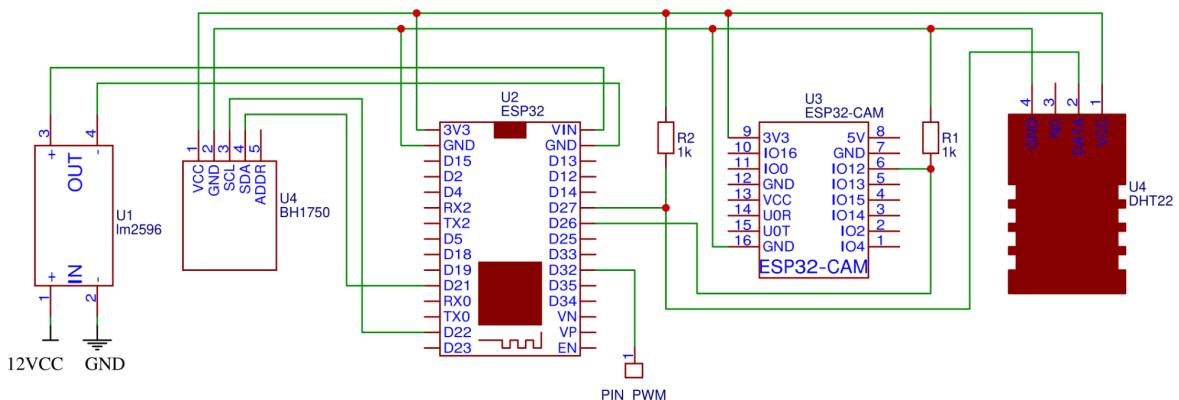
7. ESQUEMA ELETRÔNICO

A figura 28 demonstra o esquema eletrônico de interligação entre o elemento de controle da luminária, o microcontrolador ESP32, bem como a alimentação elétrica de todo o conjunto através do regulador de tensão LM2596, não deixando de lado a interligação dos seguintes sensores:

- Sensor de luminosidade BH1750;
- Sensor de Temperatura e umidade DHT22;
- Sensor de presença ESP32 CAM;

Podemos observar que no diagrama da figura 28, o módulo regulador Buck LM2596 recebe uma alimentação de +12VCC de um fonte CC externa e regula para +5VCC a fim de realizar a alimentação da placa de desenvolvimento ESP32. Estando a placa alimentada, está então realizada a alimentação elétrica tanto do módulo sensor de luminosidade BH1750 como o sensor de presença (ESP32 CAM) e o sensor de temperatura e umidade DHT22 com +3,3VCC. A saída do sinal PWM gerado pela ESP32 para o driver de potência da luminária pode ser observado no diagrama como a saída do pino digital 32, nomeado como “PIN_PWM”.

Figura 28 - Esquema eletrônico da luminária inteligente sem o Driver de potência



FONTE: AUTORAL

O esquema eletrônico apresentado na figura 28 foi elaborado utilizando-se do software WEB EasyEDA, que oferece boa parte das funcionalidades necessárias para criação de um esquema eletrônico gratuitamente.

8. RESULTADOS

Em face de todos os requisitos iniciais do projeto de luminária inteligente, deu-se a implementação das seguintes funcionalidades:

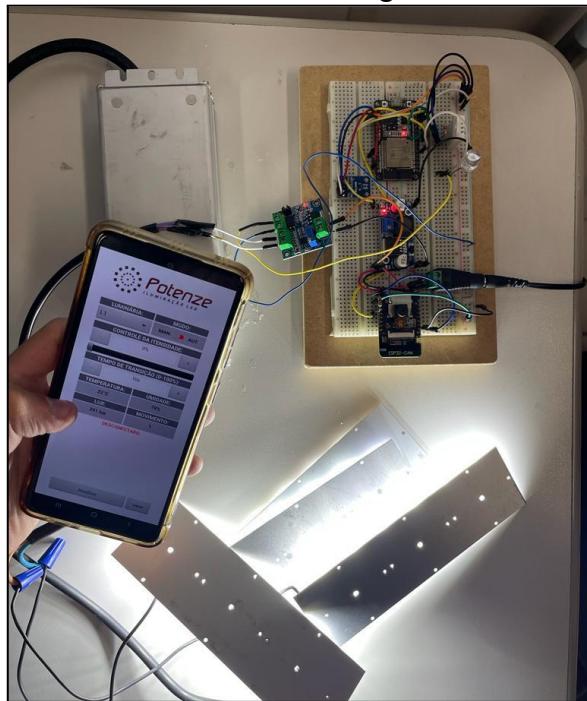
Quadro 5 - funcionalidades implementadas no protótipo de luminária inteligente

REQUISITO	FUNCIONALIDADE IMPLEMENTADA
Controle PWM: O drive de controle das luminárias deveria ser manipulado via sinais PWM enviados de um microcontrolador.	Controle PWM via sinais emitidos pelo microcontrolador ESP32.
Dimerização: As luminárias deveriam ser dimerizáveis e esta dimerização teria que necessariamente ser realizada de forma automática através da leitura do sensor de luminosidade e opcionalmente de forma manual através de um sistema supervisório.	Desenvolveu-se tanto a dimerização automática da luminária através da leitura de luminosidade do ambiente pelo sensor BH1750 quanto a dimerização manual, através do aplicativo móvel e sistema supervisório.
Telemetria: As luminárias deveriam ser capazes de interconectar-se umas com as outras bem como enviar dados de forma remota (sem a necessidade de cabeamentos).	Implementou-se uma comunicação sem fio através do uso do protocolo WIFI ESP Mesh.'
Sistema supervisório: As leituras dos sensores devem ser apresentadas em um sistema supervisório. O sistema deverá ser desenvolvido tanto como um aplicativo WEB (World Wide Web) quanto como um aplicativo móvel, possibilitando além da leitura dos valores medidos pelos sensores a manipulação das luminárias.	Foi possível a prototipação tanto do aplicativo móvel através do software MIT Inventor, como do sistema supervisório através da plataforma Node Red. Apesar de o aplicativo móvel oferecer uma maior flexibilidade ao usuário no que diz respeito ao controle das luminárias, ambos os sistemas atenderam os requisitos iniciais.
Compatibilidade: As luminárias deveriam ser capazes de controlar luminárias de outros fabricantes através de um sinal analógico padrão 0 a 10V(Volts).	Possibilitou-se o controle de luminárias de outros fabricantes através do padrão de sinal analógico 0-10V presente na grande maioria das luminárias do mercado.
Instrumentação: As luminárias deveriam ser necessariamente capazes de medir a luminosidade do ambiente, de maneira desejável a detecção de presença e opcionalmente variáveis como temperatura, umidade, gases nocivos, pressão, som, dentre outras.	Implementou-se a medição da luminosidade com o sensor BH1750, bem como da temperatura e umidade com o sensor DHT22.

FONTE: AUTORAL

Realizou-se o controle do Drive de potência e portanto, dos LEDs fornecidos pela companhia Potenze tanto através dos sinais PWM gerados pelo microcontrolador quanto pelo conversor analógico 0-10V, conforme a **figura 29**.

Figura 29 - Esquema eletrônico da luminária inteligente sem o Driver de potência



FONTE: AUTORAL

O fato é que, muito embora figurando apenas como um protótipo, ofereceu-se ao usuário a possibilidade de controle via smartphone ou computador de qualquer lugar do planeta, o que fez total diferença em face de uma luminária High Bay convencional, de modo que através do uso de tecnologias atualmente amigáveis ao ser humano (Internet, Smartphones, computadores) se possibilitou uma facilitação na interação que ocorre entre humanos e coisas, ou melhor dizendo humanos e luminárias, princípio da Internet das Coisas.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do exposto, verifica-se que sistemas de iluminação inteligentes, muito embora apresentam funcionalidades semelhantes às convencionais, podem proporcionar um melhor uso de recursos energéticos por conseguinte causando redução de custos. Através de técnicas de controle modernas que utilizam Hardware otimizados bem como software embarcado torna-se possível promover uma iluminação energeticamente otimizada.

Os resultados deste artigo sugerem ainda a possibilidade de melhorias no protótipo conforme observado abaixo:

- **MONTAGEM DO PROTÓTIPO:** Notou-se que principalmente no quesito da interligação entre as placas microcontroladores e os sensores, há a possibilidade de melhoria através do desenvolvimento e implementação de uma placa de circuito impresso PCI, possibilitando a interligação segura entre sensor e microcontrolador.
- **ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA:** Observou-se através da suposição de uma situação onde ocorresse a queda de energia na instalação onde as luminárias estão conectadas, a necessidade de implementação de uma bateria em cada luminária servindo como uma espécie de UPS (Uninterrupted Power Supply) estando a cargo da alimentação dos microcontroladores até um eventual retorno da alimentação da rede.
- **ALERTA SONORO:** Verificou-se a possibilidade da inclusão de um sensor de gases inflamáveis, onde seria empregado um alerta sonoro em caso de detecção destes gases;

- **BANCO DE DADOS:** Durante o desenvolvimento das interfaces de usuário observou-se a possibilidade do desenvolvimento de um banco de dados relacional que supostamente seria utilizado no armazenamento do dados de temperatura, umidade e luminosidade enviados pelas luminárias;

10. REFERÊNCIAS

- ALIEXPRESS. **Módulo conversor de tensão buck boost ajustável.** 2022. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/32835716087.html?gatewayAdapt=glo2bra> Acesso em: 20 nov. 2022.
- DFROBOT. **ESP 32 CAM.** 2019. Disponível em: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0602_Web.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022.
- DICIO. **Significado de prototipação.** 2019. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/prototipagem/#:~:text=Significado%20de%20Prototipagem&text=%5BPor%20Extens%C3%A3o%5D%20Ato%20de%20criar,Prototipar%2B%20agem..> Acesso em: 10 nov. 2022.
- ELETROGATE. **Módulo Sensor De Luminosidade BH1750 - GY-302.** 2021. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-luminosidade-bh1750-gy-302>. Acesso em: 13 nov. 2022.
- ESPRESSIF. **ESP32.** 2019. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 20 out. 2022.
- ETECHNOPHILES. **Pinagem da placa ESP32 Dev, especificações, folha de dados e esquema.** 2021. Disponível em: <https://www.technophiles.com/esp32-dev-board-pinout-specifications-datasheet-and-schematic/>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- EXPOLUX. **Mercado de iluminação inteligente deve chegar a US\$ 46,90 bi.** 2022. Disponível em: <https://blog.expolux.com.br/2022/02/02/ilumdec-mercado-de-iluminacao-inteligente/>. Acesso em: 31 out. 2022.
- FIA. **Desenvolvimento de Softwares: O que é, Como Funciona e Dicas.** 2019. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/desenvolvimento-de-softwares/>. Acesso em: 12 nov 2022.
- FVG, **Brasil tem 424 milhões de dispositivos digitais em uso, revela a 31ª Pesquisa Anual do FGVCIA.** 2020. Disponível em: <https://portal.fgv.br/noticias/brasil-tem-424-milhoes-dispositivos-digitais-uso-revela-31a-pesquisa-anual-fgvcia>. Acesso em: 1 nov. 2022.
- GRUPOMB. **Iluminância: entenda como o conceito se relaciona à produtividade.** 2017. Disponível em: <https://grupomb.ind.br/iluminancia-produtividade-e-iluminacao-no-ambiente-de-trabalho/#:~:text=Normas%20Brasileiras%20NBR%205413%20e%20NBR%208995%2D1&text=J%C3%A1%20na%20se%C3%A7%C3%A3o%20referente>

%20%C3%A0, de%20refer%C3%A7a%C2%A9a%20%C3%A9750%20lux.
Acesso em 13 nov. 2022.

- LIU, Thomas. **Digital-output relative humidity & temperature sensor/module.** 2021. Disponível em: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2022.
- LUMICENTER. **Utilize a iluminação natural a seu favor e economize no consumo de energia.** 2018. Disponível em: <https://www.lumicenteriluminacao.com.br/sensores-de-luminosidade/#:~:text=Sensores%20de%20Luminosidade%3A%20a%20combina%C3%A7%C3%A3o,em%20determinadas%20horas%20do%20dia>. Acesso em 13 nov. 2022.
- LUTERLED. **High Bay: Conheça os 5 tipos de Luminárias High Bay Led.** 2020. Disponível em: <https://www.luterled.com.br/blog-high-bay-conheco-os-5-tipos-de-high-bay-led/>. Acesso em: 4 nov. 2022.
- MASTERWALKERSHOP. **Módulo Conversor de Sinal PWM para Tensão Analógica de 0-10V.** 2022. Disponível em: <https://www.masterwalkershop.com.br/modulo-conversor-de-sinal-pwm-para-tensao-analogica-de-0-10v>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- MINATEL,Pedro. **Como funciona o sensor de luz BH1750.** 2017. Disponível em: <https://imasters.com.br/desenvolvimento/como-funciona-o-sensor-de-luz-bh1750>. Acesso em: 13 nov.2022.
- OLIVEIRA, Ana Flávia. **Iluminação do ambiente: Entenda como ela afeta a saúde da equipe.** 2021. Disponível em: <https://beecorp.com.br/iluminacao-do-ambiente-afeta-a-equipe/#:~:text=A%C3%A9m%C2%ADos%C2%ADimpactos%C2%ADnegativos%C2%ADconsequentemente%C2%ADo%C2%AAumento%C2%ADda%C2%ADprodutividade>. Acesso em: 1 nov. 2022.
- POTENZE. **Luminária Industrial LED 26 W.** 2022. Disponível em: <http://www.potenze.com.br/Luminaria%E2%80%8B-Industrial%E2%80%8B-LED-%E2%80%8B2%E2%80%8B6W.aspx>. Acesso em: 5 nov. 2022.