
ESTUDO DE CASO PARA APLICAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA INTELIGENTE – ENGENHARIA ELÉTRICA – UNISOCIESC/ CAMPUS JOINVILLE

HENCHEL, Clevison Ricardo¹
VEIGA, Lucas da²
OLIVEIRA, Solange Alves Costa Andrade de³
FILHO, Carlos Roberto da Silva⁴

RESUMO

O projeto tem o intuito de controlar e supervisionar o funcionamento de um sistema alternativo de iluminação pública, na qual a alimentação elétrica dele é independente da rede elétrica pública, mas sim a energia elétrica é gerada através de baterias carregadas via energia solar e eólica. Com o monitoramento online e remoto do supervisor, variáveis são medidas e comandos acionados na iluminação. Neste artigo serão demonstradas as pesquisas referentes a otimização da iluminação pública de maneira a torná-la mais eficiente e renovável.

Palavras-chave: Controle da Iluminação Pública; Sistema Supervisorio; Eficiência Energética.

ABSTRACT

The project is intended to control and supervise the operation of an alternative public lighting system, in which its electricity supply is independent of the public electricity network, but rather batteries charged via solar and wind energy. Through the supervisor's online and remote monitoring, variables are measured and commands activated in the lighting. In this article, research regarding the optimization of public lighting in order to make it more efficient and renewable will be demonstrated.

Keywords: Control of Public Lighting; Supervisory System; Energy Efficiency.

¹Clevison Ricardo Henschel do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC, clevison.ricardo@gmail.com; ²Lucas da Veiga do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC, lucas_daveiga@hotmail.com; ³Professor orientador: Solange Alves, Centro Universitário UNISOCIESC, solange@unisociesc.com.br; ⁴Coordenador do Curso: Carlos Roberto da Silva Filho, Centro Universitário UNISOCIESC, carlos.silva@unisociesc.com.br.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente encontramos a iluminação pública sem avanços nos últimos anos, além da falta de transparência para a cobrança do consumo da energia utilizada para a iluminação. Hoje o tempo para a realização de uma manutenção (substituição de lâmpadas queimadas ou outras causas) quando necessário é muito longo, por depender de uma ligação anônima ou rondas feitas pelos técnicos da concessionária para a realização do serviço.

Isso acaba por afetar a segurança das nossas vias, pois uma boa iluminação é de suma importância para garantir a segurança dos pedestres e também a visibilidade dos motoristas trafegando pelas vias.

Conforme os dados levantados pela Eletrobras em 2014, a demanda reservada para a iluminação pública do Brasil corresponde a cerca de 4,5% da total nacional, representando assim um grande percentual de consumo de energia elétrica do nosso país. Com esse dado em mãos, vimos a necessidade de inovação neste ramo de interesse público, procurando deixá-la mais eficiente e também mais segura para todas as pessoas.

O objetivo geral do trabalho é otimizar o sistema de iluminação pública, buscando ter controle das variáveis envolvidas no processo. Isso será possível, através da regulação da intensidade da iluminação em períodos específicos da noite, utilizando sensoriamento nas vias para a ativação da iluminação somente quando necessário.

Além da aplicação do monitoramento online do funcionamento das luzes, para assim com os dados coletados, haverá a previsão de quando será necessário realizar manutenções preventivas ou corretivas e o controle remoto para acionamento total da iluminação em casos de emergência.

Como retorno dessas melhorias informadas, teremos o controle mais preciso por ponto de iluminação, gerando relatórios com os dados de funcionamento e também de manutenção. Seguindo as tendências mundiais, o projeto busca uma maneira mais sustentável e eficiente para a geração de energia (energia solar e eólica) para iluminação pública, consequentemente reduzindo os gastos com iluminação, ajudando a diminuir o impacto ambiental.

Dentre os principais objetivos deste trabalho se encontram:

- a) Confecção do protótipo do ponto de iluminação ilustrando a aplicação do projeto;
- b) Desenvolvimento de método para melhor aproveitamento da incidência de luz solar nas placas solares e energia eólica;
- c) Integração das diferentes plataformas para entrega da solução;
- d) Elaboração do projeto 3D do protótipo da luminária;
- e) Desenvolvimento de um sistema de supervisão na nuvem para monitoramento online e remoto de funcionamento, para manutenção preventiva e corretiva;
- f) Desenvolvimento do sistema de carregamento mútuo de bateria;
- g) Projeção da incidência luminosa nas vias públicas com iluminação de LED.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IMPORTÂNCIA DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A iluminação pública tem papel fundamental na melhoria da qualidade de vida da população, na ocupação de espaços públicos com atividades lícitas à noite, na imagem da cidade, no incremento do comércio e no turismo. É impossível, hoje em dia, imaginar uma cidade de pequeno, médio ou grande porte sem iluminação pública (ROSITO, 2020).

Aquelas cidades que ainda possuem iluminação inadequada ou ineficiente já têm consciência dos benefícios que a melhoria do sistema de iluminação pode trazer (ROSITO, 2020).

Já está comprovado que há correlação direta entre a falta de iluminação pública e o aumento da criminalidade, prova disto foi o ocorrido em 1974 na Inglaterra, quando durante a crise do petróleo, a iluminação pública foi reduzida em 50% em algumas áreas urbanas, como resultado as estatísticas da época registram em aumentos de 100% nos indicadores de furtos e de 50% nos de criminalidade (MARTINS, 2011).

A escuridão é amiga da criminalidade, como explica Isac Roizenblatt (2016), diretor técnico da Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilux): "Quem procura fazer algo de errado, não quer ser visto. Por isso, a boa iluminação é uma grande inimiga do crime. Isso está provado mundialmente".

2.2 ENERGÍA EÓLICA

A energia eólica é um tipo de energia limpa e renovável, ou seja, não ocorre a emissão de poluentes, além de não exaurir a natureza. É considerada a fonte de energia mais limpa do planeta (BRITO, 2020).

2.2.1 CONCEITOS E TIPOS DE GERAÇÃO EÓLICA

Em geral a produção de energia eólica é um processo simples, hoje existem basicamente duas formas de instalação para a geração, a *Onshore* e à *Offshore*, ou seja, em ambiente terrestre ou em marítimo, sendo que cada uma pode ter suas subdivisões (BRITO, 2020).

Em ambas o conceito para a produção de energia é o mesmo, de uma forma bem simplificada, as pás do sistema são movimentadas pelo vento, e estas por sua vez são conectadas a um eixo central, na qual gera um campo magnético no gerador conectado. Após isso, a energia elétrica em si é gerada. Esta energia é direcionada a uma subestação, para então ser redistribuída para os consumidores conectados na rede alimentada pelo sistema (AMARANTE, 2010).

Portanto, podemos ter duas formas de utilização da energia gerada pelo sistema, segundo Amarante (2010), o sistema *Ongride*, aquela ligada ao Sistema Interligado Nacional ou a *Offgride*, cuja utilização e distribuição é a parte do SIN. Nesta forma *Offgride*, é a forma na qual a energia é utilizada no local de produção dela.

Na maioria das vezes em locais mais remotos, ou em pequenas regiões mais afastadas. A produção eólica nesses locais se torna fundamental, pelo custo de outras formas, ou até mesmo pela impossibilidade (AMARANTE, 2010).

2.3 ENERGIA SOLAR

Entende-se por energia solar, a energia obtida do Sol, gerada em seu núcleo, que como ondas eletromagnéticas (fótons) chega a superfície da Terra, de maneira direta ou difusa. No Sol, a temperatura (15.000.000° C) e a pressão (340 bilhões de vezes a pressão atmosférica da Terra ao nível do mar) são tão intensas que ocorrem reações nucleares (UFRGS, 1997).

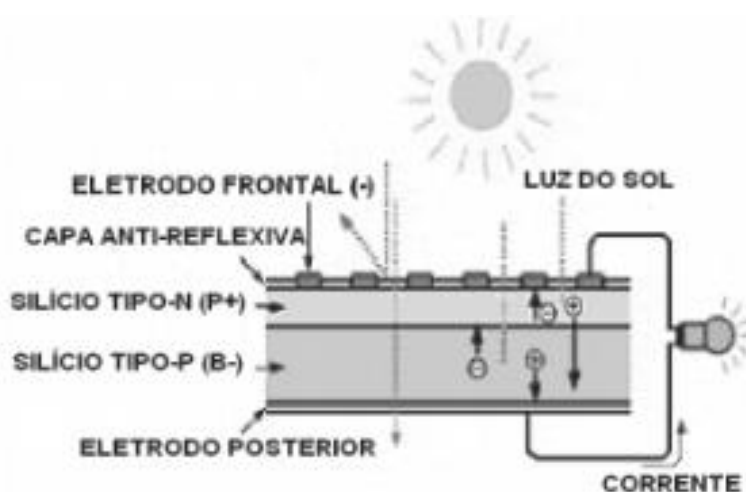
Estas reações transformam quatro prótons ou núcleos de átomos de hidrogênio em uma partícula alfa, que é o núcleo de um átomo de hélio. A partícula alfa é aproximadamente 0,7% menos massiva do que quatro prótons. A diferença em massa é expelida como energia e carregada até a superfície do Sol, através de um processo conhecido como convecção, e é liberada em forma de luz e calor (UFRGS, 1997).

Os painéis solares (Figura 1) não utilizam o calor do sol para a geração de energia, mas sim a luz dele. Interpretando a palavra, “photo” significa “produzido pela luz” e o sufixo “voltaico” refere-se a “eletricidade produzida por uma reação química”, ou seja, eles são os elementos básicos para a transformação de energia eletromagnética em energia elétrica e podem ser compreendidos como dispositivos semicondutores que produzem uma corrente elétrica quando expostos à luz (VILLALVA, 2012).

O mais popular dos componentes utilizados nos painéis é o silício (Si), tendo como principal característica a presença de quatro elétrons na camada de valência. Devido a esta característica são inseridos elementos pentavalentes junto ao silício, como o fósforo e o arsênio (grupo V da tabela periódica), fazendo assim com que fique sobre um elétron da ligação com o silício (VILLALVA, 2012).

Portanto, é necessária uma pequena quantidade de energia para liberar esse elétron para a banda de condução, cerca de 1,2Vdc. Este grupo de elementos é chamado de dopante doador (dopante N ou impureza N) (MARQUES, 2008).

Figura 1 – Ilustração do funcionamento dos painéis solares



Fonte: MARQUES (2008)

Como ilustrado na figura acima, os fótons emitidos pela luz solar são absorvidos pelo painel, na parte dopante N (doador), fazendo com que os elétrons dessa camada passem para a camada de condução, sendo atraídos pelo campo elétrico formado na junção P-N (MARQUES, 2008).

Devido a este fenômeno, através de uma ligação externa, é possível armazenar ou utilizar esses elétrons que são formados durante esse fenômeno, sendo assim necessária a utilização de baterias (*Offgride*) ou conectado diretamente ao Sistema Interligado Nacional (SIN) (*Ongride*) (MARQUES, 2008).

2.4 TECNOLOGIA E CUSTO-BENEFÍCIO COM O LED

Com o LED, o mundo tecnológico tem afinal seus instrumentos para uma nova sinfonia de luzes, variedade de cores, dimerização e redução de consumo. Por outro lado, em alguns países investem no conceito de “criminalização” da industrialização das lâmpadas incandescentes. Países europeus já fixaram datas para eliminar o comércio e industrialização dessas lâmpadas (DERZE, 2008).

Para compensar, os fabricantes de LEDS precisam adotar a utilização de placas eletrônicas, numa espécie de urbanização de componentes eletrônicos para “abastecer” os diodos emissores de luz (LED) com maior capacidade de potência lumínica e maior redução de consumo de energia elétrica. A Tabela 1 representa o custo do consumo de energia pública (DERZE, 2008).

Tabela 1 – Custo do Consumo de Energia Pública

Tempo (Anos)	Custo Convencional (US\$)	Custo LED (US\$)	Economia (US\$)
1	148,00	72,80	75,20
3	443,90	218,40	225,50
5	739,90	364,00	375,90
6	887,80	436,80	451,00
7	1035,80	509,60	526,20
10	1479,70	728,00	751,70

Fonte: DERZE (2008)

2.5 NORMAS BRASILEIRAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. Sendo assim é uma entidade privada e sem fins lucrativos que cuida de diferentes normatizações no país. Ou seja, ela estuda e propõe formas de sistematizar processos, sejam eles de cunho acadêmico, tecnológico, industrial, produção de serviços, entre outros (ABNT, 2020).

2.5.1 ABNT NBR 5101 NORMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Para normatizar as regras aplicadas no setor de iluminação pública, foi criada a NBR 5110 (2012), esta formaliza os padrões necessários para garantir os benefícios de uma boa iluminação, listados abaixo:

- a) Redução de acidentes noturnos;
- b) Melhoria da condição de vida, principalmente nas comunidades carentes;
- c) Auxílio na proteção policial;
- d) Facilidade no fluxo de tráfego;
- e) Eficiência energética.

Todos esses pontos destacados só são obtidos graças aos requisitos solicitados na norma, que de forma resumida são destacados:

- a) Para cada via, com suas características, na qual a iluminação é aplicada, diferentes exigências são solicitadas, vias urbanas, trânsito rápido, arterial, coletora, rural e local possuem demandas diferentes e regras específicas além de outras situações especiais como cruzamento com ferrovias, túneis...;
- b) De acordo com o volume de tráfego no local são adotadas diferentes solicitações. A norma possui três classificações, leve entre 150 e 500 veículos por hora, médio até 1200 e intenso acima de 1200;
- c) Conforme a quantidade de faixas de rolamentos na via são adotados cálculos diferenciados para a quantidade de luminárias necessárias;
- d) Iluminação de espaços públicos com predominância de pedestres, como praças, parques e calçadas possuem normas a serem obedecidas.

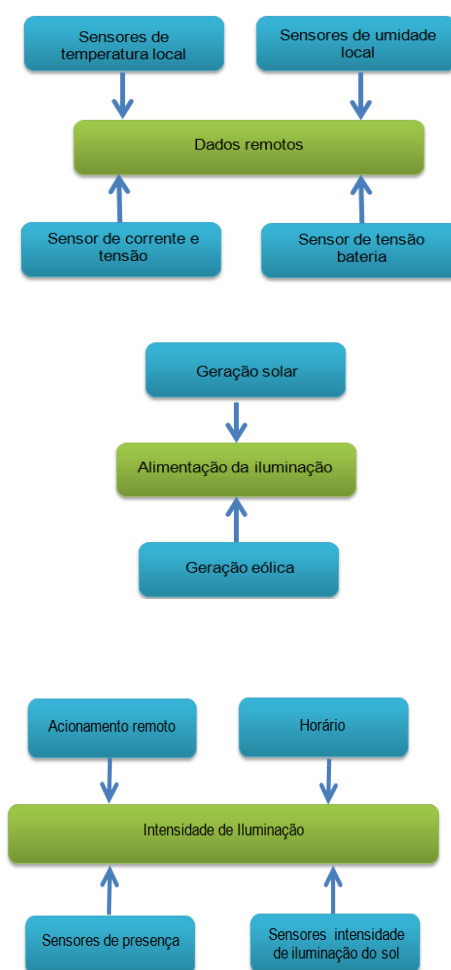
Para determinar a qualidade da iluminação e se de fato as regras impostas de acordo com o local estão sendo obedecidas, são adotadas algumas características elétricas e fotométricas. Fluxo luminoso, rendimento, potência absorvida e eficiência do ponto de iluminação. De acordo com a norma ABNT NBR 5101 (2012), o requisito mínimo para vias arteriais e coletoras, local de aplicação do projeto é de 20 lux.

3 DESENVOLVIMENTO

O projeto tem como principal objetivo implementar a independência da alimentação da iluminação pública da rede elétrica, por meio do uso de formas alternativas e limpas de geração, a eólica e solar. Tendo como outras melhorias o uso de tecnologia para monitoramento remoto e geração de dados para uso público.

Abaixo a Figura 2 demonstra as três principais entregas do projeto, e as variáveis envolvidas no processo.

Figura 2 - Visão geral



Fonte: Autores (2021)

3.1 *HARDWARE* DA SOLUÇÃO

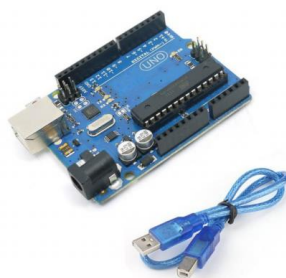
A fim de tornar possível a solução proposta, é necessário estabelecer a relação de algumas plataformas e equipamentos, na qual em harmonia possibilitam os resultados esperados. Abaixo estão listados e descritos de forma breve sua função no sistema e seu funcionamento.

3.1.1 PROCESSAMENTO DE DADOS LOCAL

A central de processamentos local, é onde as ações previamente programadas são executadas e também onde as informações são absorvidas do ambiente e encaminhadas para a nuvem.

Para o projeto, foi escolhida a plataforma Arduino (Figura 3), mais especificamente o Arduino Uno.

Figura 3 - Arduino Uno



Fonte: Arduino (2021)

Esta é uma plataforma aberta de programação amplamente utilizada para fins didáticos e confecção de protótipos (onde se enquadra o projeto). Raramente são utilizados em concepções finais de projetos, devido não possuírem a robustez necessária para aplicações em campo.

3.2 *HARDWARE* DE SUPERVISÃO NA NUVEM

A seguir são listados os equipamentos e plataformas utilizados para a comunicação do Arduino com a rede e consequentemente com o supervisor.

3.2.1 MÓDULO DE INTERFACE

Com o objetivo de possibilitar o acesso remoto e o lançamento de dados para um supervisor na nuvem, se faz necessário o uso de uma ferramenta de 'interface' entre o Arduino e a rede. O modelo de Arduino escolhido (Figura 4), não possui de forma nativa para essa possibilidade, para tanto, foi escolhido o módulo Nodemcu Esp32.

Figura 4- Módulo Nodemcu Esp32



Fonte: Arduino (2021)

Este módulo se conecta à *internet* através de uma rede *Wi-fi* que precisa estar disponível no local para que seja possível a conexão com a rede. Por ser um módulo de baixo custo, este é amplamente utilizado em projetos protótipos.

O módulo possui um microprocessador independente, essa característica permite que seja possível a programação dele de forma independente de outra plataforma, com instruções de programação dedicadas para o módulo. Possuindo entradas e saídas incorporadas, inclusive analógicas e compatibilidade com o protocolo de comunicação I2C, que permite a troca de dados com periféricos, entre módulos nodemcu e com o arduino.

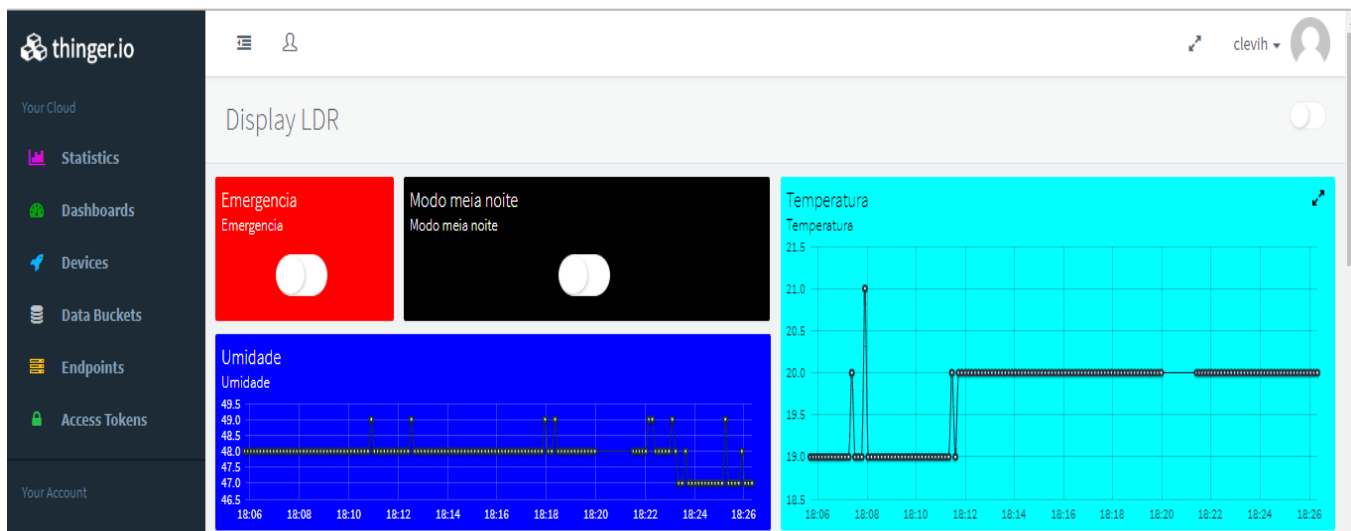
3.3 SUPERVISÓRIO DE COMUNICAÇÃO

Assim que temos todo o *hardware* necessário para a comunicação com a rede, é possível enviar e receber dados da nuvem.

A plataforma *online* escolhida para este processo foi a *Tinger.io* (Figura 5). Esta foi selecionada devido a ser uma ferramenta de fácil utilização, e possuir em sua base

blocos de programação preparados para se comunicar com os módulos Arduino e similares, na qual se enquadra o módulo Nodemcu.

Figura 5 – Interface Tinger .IO



Fonte: Autores (2020)

As variáveis de medição são encaminhadas para o supervisor através do Nodemcu (Figura 6). Primeiramente é necessário inserir a biblioteca com os arquivos de comunicação, e os dados previamente cadastrados no site Thinger IO:

Figura 6 - Configuração Nodemcu x ThingerIO

```
#include <ThingerESP8266.h>

#define USERNAME "clevih"
#define DEVICE_ID "NodeMCU"
#define DEVICE_CREDENTIAL "senha123"

ThingerESP8266 thing(USERNAME, DEVICE_ID, DEVICE_CREDENTIAL);
```

Fonte: Autores (2021)

Cada variável precisa ser nomeada individualmente (Figura 7), deixando claro de qual local ela irá receber o valor de atualização:

Figura 7 - Configuração variáveis Nodemcu

```
thing["tensao_1"] >> [] (pson& out){
  out["busvoltage"] = busvoltage;
};
thing["corrent_1"] >> [] (pson& out){
  out["corrent_1"] = current_mA;
};
thing["potencia_1"] >> [] (pson& out){
  out["potencia_1"] = power_mW;
};
```

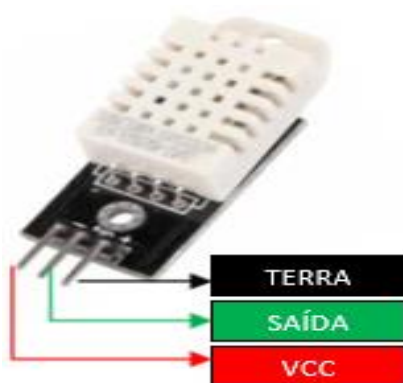
Fonte: Autores (2020)

3.4 MÓDULO SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE

Este sensor com dupla função, leitura de temperatura, através de um resistor variável (NTC) e umidade que é feita através de um resistor especial que se altera conforme a umidade do ar.

Essas duas grandezas são conectadas a um microcontrolador de 8-bits, na qual converte esses dois sinais em uma saída analógica e encaminha para o equipamento conectado a ele, no caso a placa Nodemcu, os valores correspondentes do ambiente. Na imagem a seguir (Figura 8), ilustra o módulo:

Figura 8 - DHT11



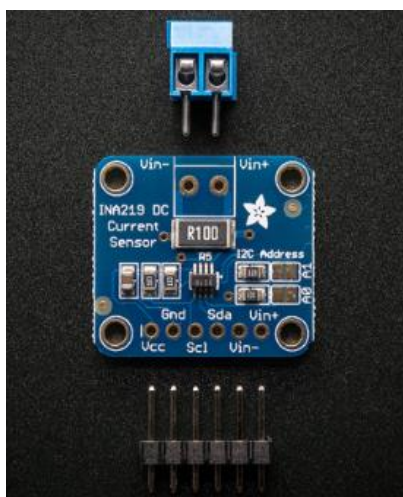
Fonte: *Datasheet DTH11* (2021)

3.5 MÓDULO SENSOR DE CORRENTE

Este módulo é um sensor de medição de várias grandezas elétricas: corrente, tensão e potência. Possui a possibilidade de configuração para comunicação em rede no protocolo I2C, fazendo com que seja possível a integração de até 16 módulos em uma única rede.

Fabricado pela *Texas Instruments*, com baixo custo, fácil programação e alta acuracidade nas suas medições (0,5%) este módulo permite com que sejam possíveis várias medições e conseqüentemente tomadas de decisão pelo processador conectado a ele.

Figura 9 - INA219 módulo



Fonte: *Texas Instruments* (2021)

3.6 SENSOR LDR

Este é um modelo de resistor (Figura 10), que funciona como um sensor de luminosidade, pois sua principal característica é a variação de resistência conforme a intensidade de iluminação aplicada a ele. Portanto, quando uma tensão é aplicada nele, através da medição da tensão resultante é possível calcular a intensidade de iluminação incidente sobre o componente.

Figura 10 - Sensor LDR



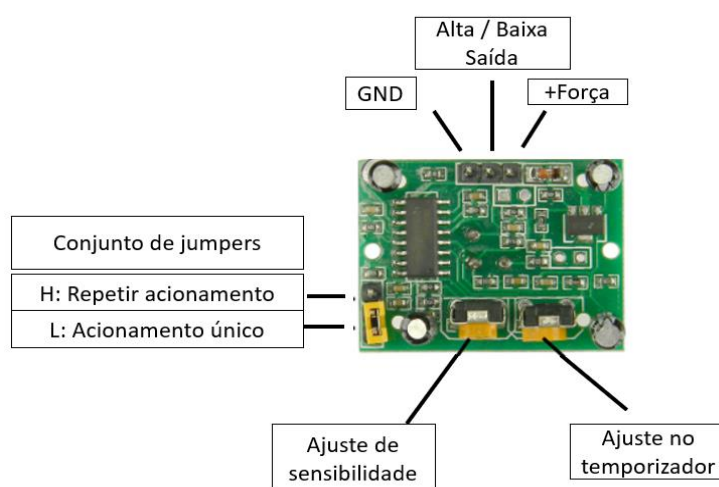
Fonte: Flipflop (2020)

3.7 SENSOR DE PRESENÇA

Com intenção de possibilitar a detecção de movimento de pedestres e carros, foi utilizado o sensor HC-SR501 (Figura 11). O funcionamento dele se baseia na tecnologia infravermelho, possuindo algumas configurações de atraso na resposta e sensibilidade de movimento diretamente no próprio sensor através de dois potenciômetros.

Por possuir baixo consumo de energia é ideal para aplicações remotas conectadas diretamente à bateria. Assim que o sensor capta algum movimento, a sua saída é ativada (3.3V) e o módulo conectado a ele recebe a informação do movimento detectado.

Figura 11 - Sensor de presença



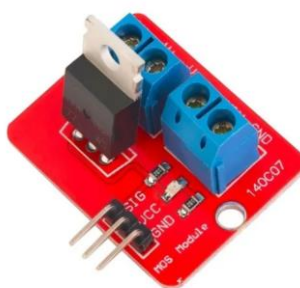
Fonte: Adaptado HC-SR501 *Datasheet* (2020)

3.8 MÓDULO COMUTAÇÃO

O módulo MOSFET (Figura 12) é utilizado com microcontroladores como PIC ou com placas de desenvolvimento como Arduinos e Raspberry, para fazer o controle de solenóides, ponte-H de motores DC, lâmpadas entre outros.

Este módulo MOSFET não é compatível com tensão AC. O MOSFET é muito utilizado como interruptor eletrônico, pois possui ótimas características para comutação. Para utilização com o Arduino é necessário conectar uma fonte auxiliar de tensão, pois somente os 5V deste não é o suficiente para acionar o *gate* do IRF520.

Figura 12 - MOSFET IRF520



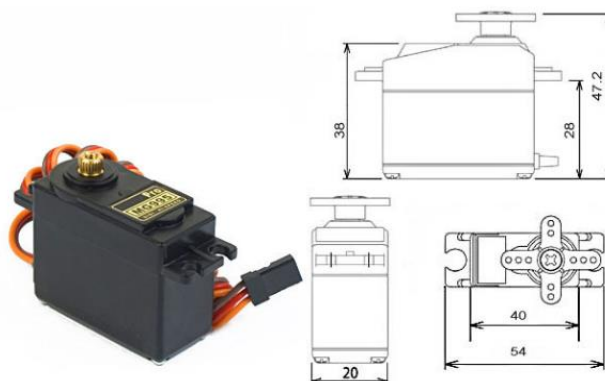
Fonte: MOSFET IRF520 *Datasheet* (2020)

3.9 SERVO MOTOR

Para a movimentação da placa solar foi utilizado o servo motor MG995 (Figura 13). Este possui engrenagens de redução interna para aumentar o toque na ponta do eixo.

Para o acionamento é necessário a alimentação dele com uma fonte externa, e o sinal PWM vindo do controlador:

Figura 13 - Servo motor MG995

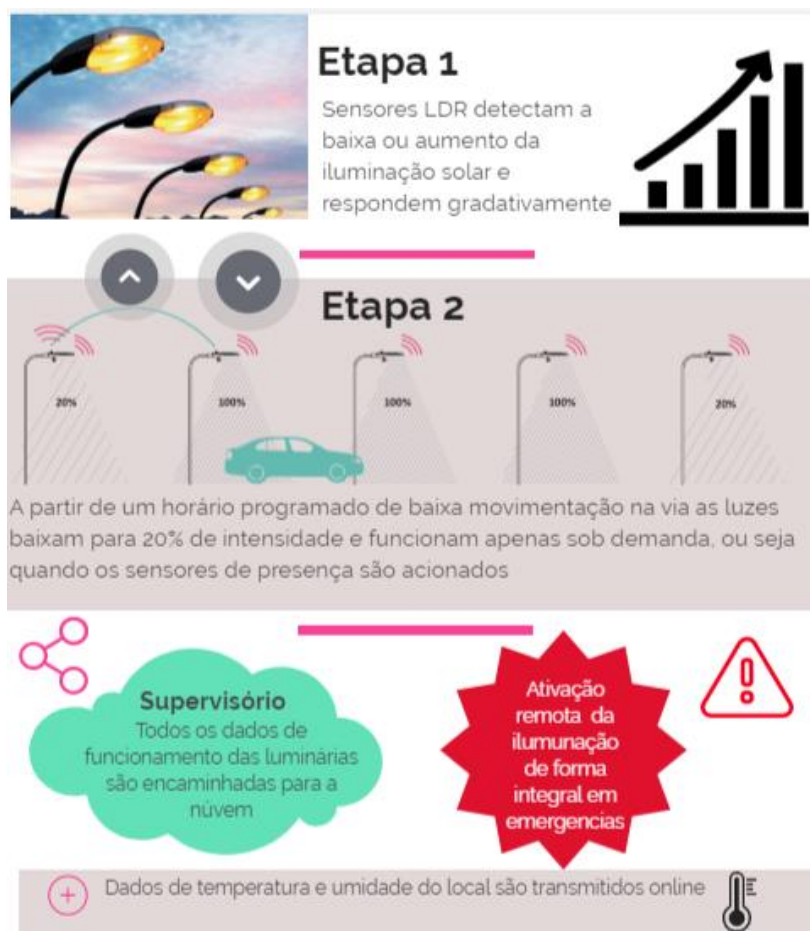


Fonte: Adaptado Servo motor MG995 *Datasheet* (2020)

3.10 SOLUÇÃO INTEGRADA DAS PLATAFORMAS

Com objetivo de melhor compreensão, abaixo na Figura 14 o infográfico com as macro informações de funcionamento do projeto:

Figura 14 - Infográfico



Fonte: Autores (2020)

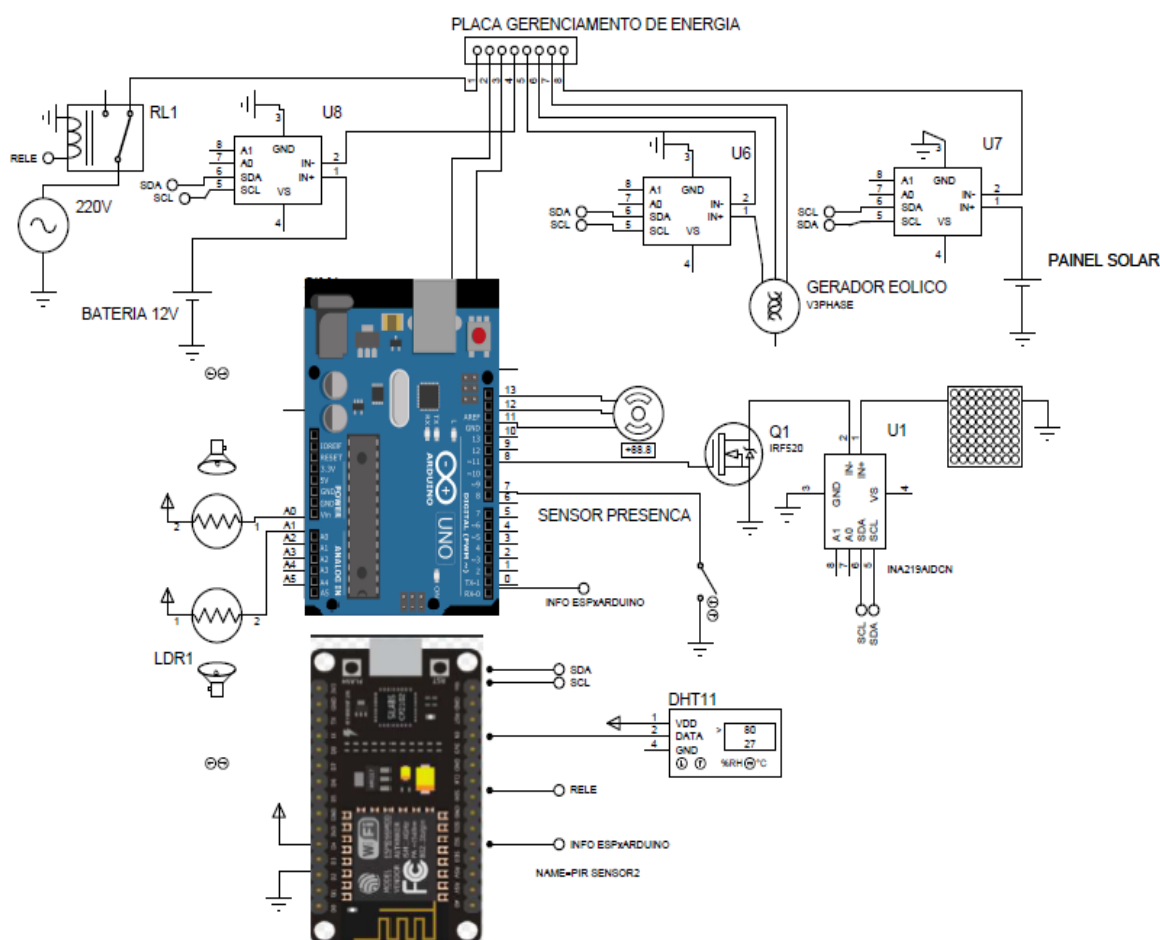
Como observado na figura acima, o foco principal do projeto está na economia de energia, desde no aproveitamento da iluminação natural nos momentos de penumbra, o que a longo prazo podem ter resultados acumulados de economia consideráveis.

Além da baixa da intensidade da iluminação a partir de um horário programado, fazendo com que a iluminação seja ativada em total capacidade somente caso ocorra algum movimento na via ou de forma remota, na ocorrência de alguma emergência, assim proporcionando mais segurança aos moradores e pessoas no local.

3.11 PROTÓTIPO DA ILUMINAÇÃO INTELIGENTE

Abaixo ilustrado na Figura 15 a interação entre os vários componentes para a composição final da solução:

Figura 15 – Placa de gerenciamento de energia



Fonte: Autores (2020)

Segue ilustração da maquete apresentado na Figura 16 e Figura 17, simulando o funcionamento do poste de iluminação:

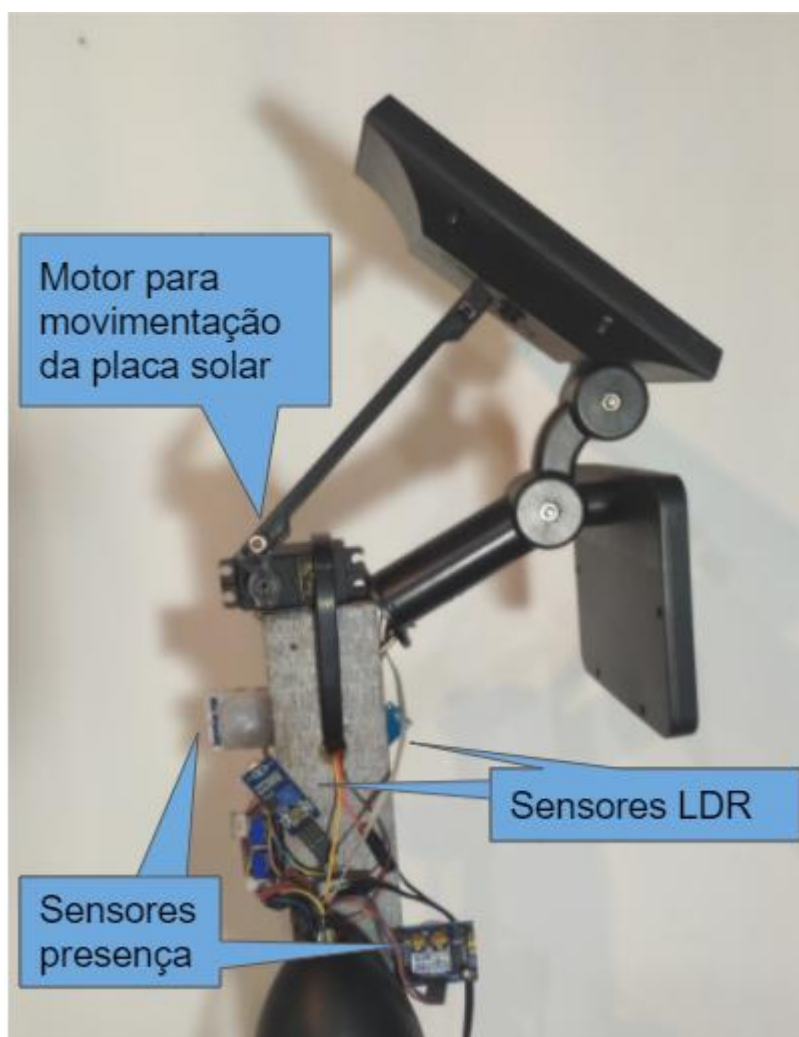
Figura 16 – Painele de LED



Fonte: Autores (2020)

A fim de melhorar o aproveitamento da luz solar, foi adicionado um servo motor (Figura 17) para acompanhamento da direção da maior incidência da radiação e tudo isso é possível devido à instalação de dois sensores LDR um em cada direção, como destacado destacado na imagem abaixo:

Figura 17 – Ilustração do servo motor e sensores LDR



Fonte: Autores (2020)

3.12 SISTEMA DE CARREGAMENTO MÚTUO DE BATERIA

Para o carregamento correto da bateria com as duas fontes de energia, foi necessário a aplicação de um circuito carregador de baterias como apresentado na Figura 18 e descrito na Tabela 2. Este possui limitação de corrente de carregamento e LEDs de indicação do estado do circuito, se está em processo de carregamento ou está totalmente carregado:

Com a intenção de garantir o funcionamento do sistema foi integrada a medição do valor de tensão da bateria. Caso ocorrer de os sistemas de carregamento solar e eólico não conseguirem manter a carga da bateria, e o valor desta estar inferior a 10 volts, o supervisorio emite um comunicado via e-mail para a equipe de manutenção ir a campo verificar o ocorrido e de forma automática é acionado o carregamento via energia elétrica da bateria, para assim assegurar a iluminação do local.

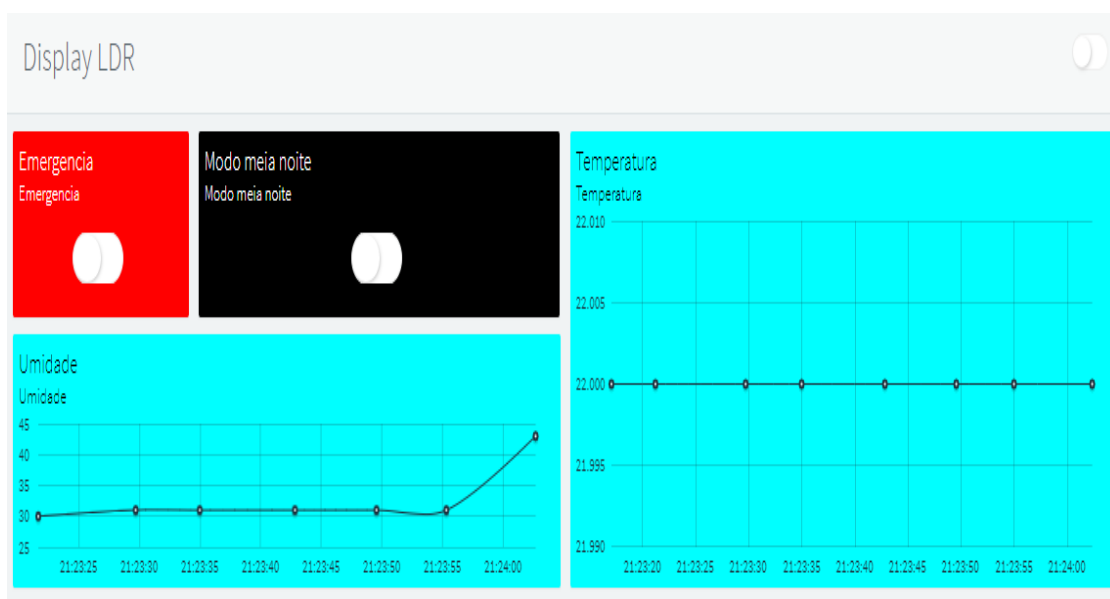
3.13 SISTEMA DESENVOLVIDO DE SUPERVISÃO NA NUVEM

A fim de tratar as informações geradas pela solução, foi utilizada a plataforma *Thingier IO*. Esta recebe os dados de temperatura ambiente, tensão, corrente e potência do LED do poste e plota as informações em um gráfico como apresentado na Figura 19. Além de receber informações, é possível enviar instruções para o Arduino.

Para fins de prototipagem, foi adicionado o “modo meia-noite” na qual simula a condição de que para esta aplicação, a partir da meia-noite, o poste funciona sob demanda, somente quando houver a passagem de pedestres ou carros.

O botão de emergência, seria para caso houvesse alguma ocorrência na via com a aplicação do projeto, depois da meia-noite, quando as luzes funcionam sob demanda, essas iriam retornar ao funcionamento em 100%, fazendo assim com que a situação se torne mais segura.

Figura 19 - Supervisorio



Fonte: Autores (2020)

Com o objetivo de garantir o funcionamento do sistema de forma correta, foi adicionado ao supervisor o disparo de forma automatizada, de um e-mail para um endereço previamente cadastrado, como ilustrado na Figura 20.

Neste caso, quando o valor de tensão da bateria está em um nível crítico, abaixo de 10 volts ou a temperatura interna da bateria estiver acima de 70°C, este irá avisar da anomalia informando o local que o poste está instalado e a necessidade de intervenção no local. Abaixo um exemplo de notificação caso o valor de tensão fique abaixo do esperado:

Figura 20 - Exemplo de e-mail enviado



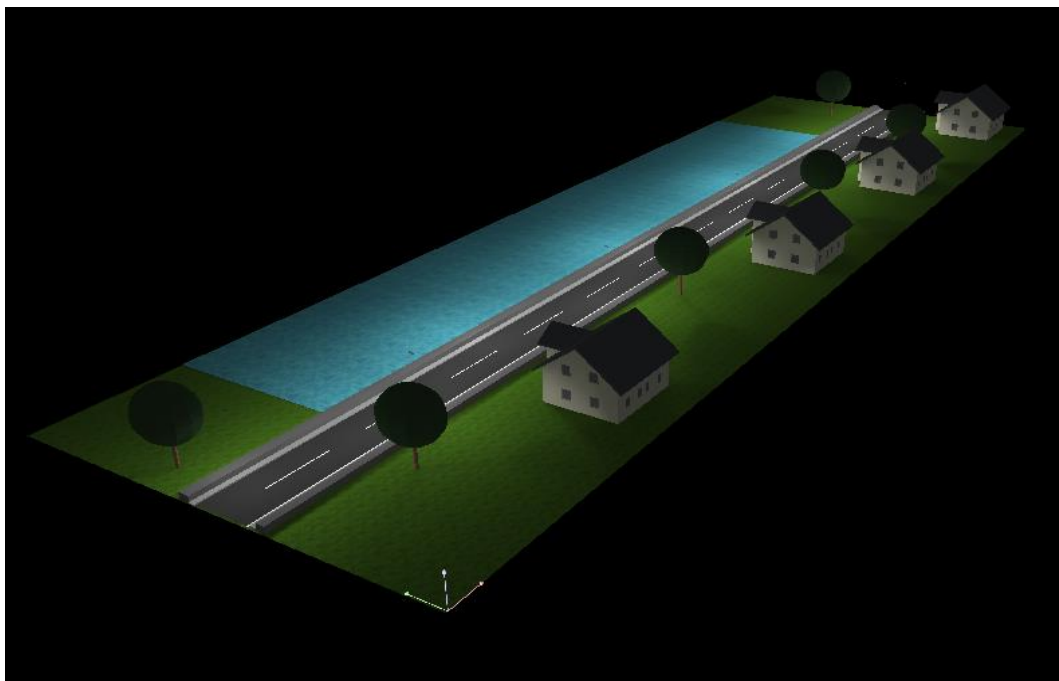
Fonte: Autores (2020)

3.14 PROJEÇÃO DA INCIDÊNCIA LUMINOSA

Através do *software* DIALux 4.13 foi realizada a simulação de diferentes modelos de luminárias LED, dentre eles escolhemos o modelo Philips BGP281, na qual apresentou resultados mais satisfatórios conforme os requisitos da NBR 5101.

A seguir nas Figura 21 e Figura 22 demonstra a simulação realizada para a escolha da luminária seguindo a norma regulamentadora.

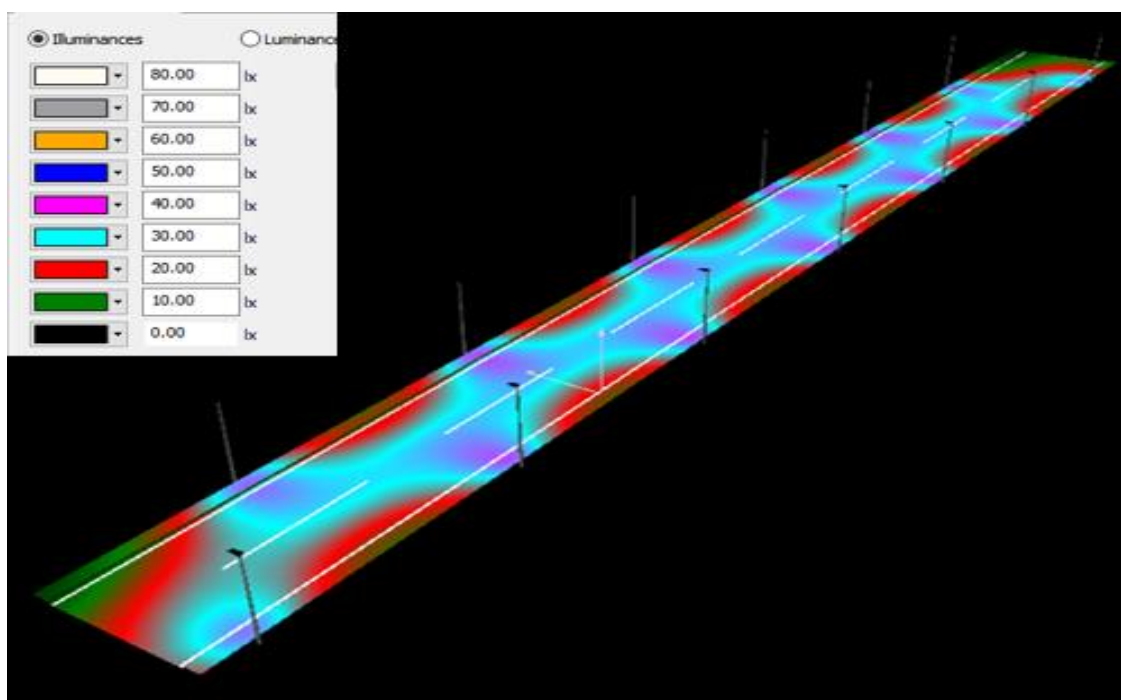
Figura 21 – Simulação da iluminação na via pública



Fonte: Autores (2021)

Na Figura 22 demonstra a simulação da intensidade luminosa da via, seguindo a NBR 5101.

Figura 22 – Simulação da intensidade luminosa



Fonte: Autores (2021)

3.15 PROTOTIPO DE ENERGÍA EÓLICA

A fim de realizar a simulação da energia eólica realizamos a construção de um protótipo como demonstrado na Figura 23, com a utilização de materiais reciclados e um servo motor trifásico como gerador do sistema.

Figura 23 - Protótipo da energia eólica



Fonte: Autores (2021)

3.16 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Para dimensionamento desse sistema fotovoltaico foi escolhida a radiação solar da localidade de Joinville – SC, Brasil. Na qual escolhemos o mês de agosto com o menor valor de radiação solar de 3,20 kWh/m² e a seguir, na Tabela 3 tem os principais parâmetros para o dimensionamento do painel e dos bancos de baterias.

Tabela 3 - Parâmetros do projeto

Autonomia	Taut = 12 horas
Potência Máxima	P = 50 W (dimerização 50%)
Eficiência da fiação	Nw = 98%
Eficiência do carregador de baterias	Nbat = 90%
Eficiência do circuito de acionamento LED	ND = 90%
Fator de correção do painel fotovoltaico	FC = 0,9
Radiação solar de Joinville	R = 3,20 kWh/m ²
Tensão do banco de baterias	Vbat = 12 V

Fonte: Adaptado da UFSM (2021)

3.16.1 CÁLCULO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Nesta aplicação foi realizado o cálculo do consumo diário, seguindo os valores da Tabela 3. Considerando que durante a metade do tempo de funcionamento (6 horas) a luminária estará operando uma variação da intensidade luminosa de 50%.

$$E = \frac{P \frac{t_{aut}}{2} + \frac{P}{2} \frac{t_{aut}}{2}}{\eta_w \eta_{bat} \eta_D} = 567 \text{ Wh / dia} \quad \dots(1)$$

Segue a Tabela 4 as especificações do painel fotovoltaico KD205GXLP escolhido para o projeto.

Tabela 4 – Especificações do painel solar

Potência	205 Wp
Tensão na máxima potência (Vmp)	26,6 V
Corrente na máxima potência (Imp)	7,71 A
Dimensões (mm)	1500x990x36
Peso	18,5 kg

Fonte: Adaptado da UFSM (2021)

A partir das especificações mostradas nas Tabelas 3 e 4, pode-se calcular a capacidade de geração da placa solar pela fórmula abaixo:

$$P_{pv} = V_{mp} \cdot I_{mp} \cdot R \cdot FC = 590Wh/dia \quad \dots(2)$$

O número de resultantes de painéis é calculado por:

$$N = \frac{E}{P_{pv}} = 0,96 \quad \dots(3)$$

Sendo que $N < 1$, é necessário o uso de apenas um painel fotovoltaico (considerando as especificações demonstradas nas tabelas acima).

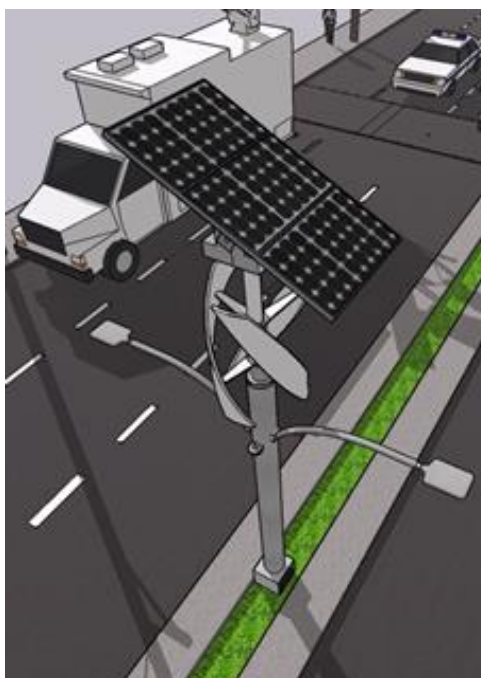
3.16.2 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Capacidade em Ah do banco de baterias:

$$CAh = \frac{E}{V_{bat}} = 47,25Ah \quad \dots(4)$$

Capacidade mínima de descarga da bateria segundo a NBR 14298:1999 é aproximadamente 30%. Resultando em $CAh = 61,4 Ah$. Em virtude dos modelos comerciais, optou-se por utilizar uma bateria Moura Clean de 63 Ah. Segue abaixo na Figura 24 a simulação no Google Sketchup da placa fotovoltaica.

Figura 24 – Painel fotovoltaico



Fonte: Autores (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A principal entrega do projeto, o protótipo, na qual ilustra o conceito apresentado, com a aplicação de todas as ferramentas na plataforma Arduino, com as esperadas limitações por ser uma ferramenta didática, atingiu seu objetivo, conseguindo simular os comportamentos na qual se espera no sistema de iluminação pública projetado.

O sistema de carregamento mútuo, integrando a energia solar, eólica e caso necessário a elétrica da rede também conseguiu mostrar resultados dentro do esperado, fornecendo a tensão necessária para o carregamento da bateria, limitando o carregamento mesmo com todas as fontes de energia em pleno funcionamento, para assim não haver a danificação da bateria.

Evidentemente, para uma aplicação em escala, em um ambiente real, várias modificações seriam necessárias, como a aplicação de um sistema mais robusto de comunicação e processamento além de um supervisor com maior confiabilidade na aquisição de dados.

Pensando nessa aplicação em um ambiente real, fizemos a projeção em software 3D, Google Sketchup, de como visualmente a solução seria integrada nos postes no ambiente urbano. O conceito arquitetônico aplicado foi pensado para ter a melhor harmonia possível com a cidade e a natureza.

Continuando com o tema dos desafios para aplicação do conceito, uma das barreiras a ser estudada é a comunicação em rede entre os pontos de iluminação. Qual protocolo a ser utilizado, devido às condições extremas na qual os equipamentos serão expostos, bem como a proteção a possíveis ataques cibernéticos que o sistema pode enfrentar, visto que a ideia é a aplicação nas vias urbanas.

Com os recentes avanços nas negociações, o uso da internet 5G também é uma ótima alternativa, visto a velocidade e abrangência na qual se quer atingir com a nova banda.

Mesmo com todos os desafios a serem resolvidos, a atualização tecnológica de nossa iluminação pública é inevitável, caso o desejo da cidade seja o comprimento das características para ser considerada uma *smart city*, para assim os seus cidadãos poderem desfrutar de melhor maneira o ambiente urbano.

O protótipo final do projeto da iluminação pública inteligente é demonstrado nas figuras abaixo (Figura 25 e Figura 26).

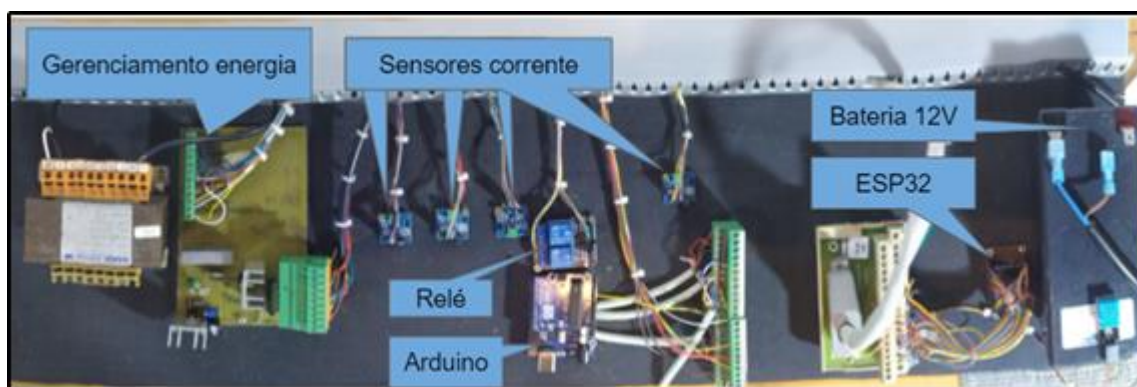
Figura 25 – Ilustração da maquete



Fonte: Autores (2021)

A Figura 26 demonstra todos os componentes utilizados para a construção do protótipo.

Figura 26 – Componentes da maquete



Fonte: Autores (2021)

CONCLUSÃO

Este projeto se mostra com grande potencial, pois propôs soluções em um ambiente muito defasado tecnologicamente. Onde foi desenvolvido um sistema de supervisão para iluminação pública e utilizando energias de fontes renováveis para geração de energia elétrica do projeto.

O funcionamento do conjunto se mostrou estável, registrando e disponibilizando informações de forma satisfatória. Mesmo a plataforma *Thinger IO* sendo uma ferramenta gratuita e para fins didáticos, se mostrou com um desempenho aceitável, com opções de aviso remoto em condições específicas e possibilidade de armazenamento e tratamento dos dados em outra plataforma se necessário.

Os demais elementos da solução tiveram bons resultados no protótipo, porém para melhor estudo da proposta seriam necessários mais alguns tópicos a serem abordados. Como teste em campo do sistema de inclinação para acompanhamento solar e do sistema eólico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ROSITO, Luciano Haas. **As origens da iluminação Pública no Brasil**. 2009. Disponível em <<http://www.osetoreletrico.com.br>>. Acesso em: 27 de abril de 2020.

DERZE, Farley. **História da iluminação do fogo ao LED**. IPOG Instituto de Pós-Graduação e Graduação. Curso de Pós-Graduação em Iluminação e Design de Interiores. Aula. 2008.

MARTINS, Juliana. **O papel social da luz urbana**. Edição 69, Outubro de 2011. Disponível em <<http://www.osetoreletrico.com.br>>. Acesso em: 27 de abril de 2020.

PROCELINFO. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 24 de abril de 2020.

BRITO, Sérgio. **Centro de Referência para a Energia Eólica**. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 24 de abril de 2020

IGLUS/EPFL. **MUI MOOC Block 1 Reading: Introduction to Management of Urban Infrastructures**, 2016. Disponível em: <<http://iglus.org/mui-moocresources/#1463057253920-b355da04-5e63>>. Acesso em: 23 de abril de 2020.

GRAHAM, S. **Introduction: Cities and Infrastructure Networks**. International Journal of Urban and Regional Research, v. 24, n. 1, p. 114–120, 2000.

ONU-HABITAT. **International guidelines on decentralisation and the strengthening of local authorities. Optimizing infrastructure - Urban Patterns for a Green Economy**. Disponível em: <<http://unhabitat.org/books/optimizing-infrastructure-urbanpatterns-for-a-green-economy/>> Acesso em: 23 de abril de 2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Global Competitiveness Report 2014-2015**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2014-2015/>> Acesso em: 23 de abril de 2020

TOWNSEND, A. M. **Smart Cities: Big data, civic hackers and the quest for a new utopia**. 1. ed. New York: [s.n.].

Coetzee, L. and Eksteen, J. (2011). **The internet of things – promise for the future? an introduction**. In IST-Africa Conference Proceedings, 2011, pages 1–9.

SINKIENE, J.; KROMOLCAS, S. **Concept, Direction and Practice of City Attractiveness Improvement. Public Policy and Administration**, v. 2603, n. 31, p. 147–154, 2010.

UFRGS. **Publicações**. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/sun.htm>> Acesso em: 20 de abril de 2020.

Isidor Buschman, **Batteries in a Portable World**, 2001. Disponível em: <<http://www.buchmann.ca/toc.asp>>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

AMARO, Marcos Antonio. **Arquitetura contra o crime: PCAA – Prevenção do Crime através da Arquitetura Ambiental**. Rio de Janeiro: Marcos Antonio Amaro. 2005.

PEREIRA NETO, Aloísio. **A tutela jurídica da energia eólica no Brasil**. 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Escola Superior Dom Helder Câmara, Belo Horizonte, 2013.

AMARANTE, Odilon A. Camargo do. **Atlas eólico: Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG:CEMIG. 2010, p.12.

NEWTON, Braga. **Como funcionam os LEDs**, 2010. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/733-como-funcionam-os-leds-art096>>. Acesso em: 11 de maio de 2020.

MARQUES, Rodrigo. **Energia solar fotovoltaica**. 2008. 105 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação)-Universidade. Estadual do Ceará, Fortaleza, 2008.

VILLALVA, Marcelo. **Energia Solar: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Editora Érica, 2012.

NBR 5101. **Iluminação Pública**. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=90522>> Acesso em 15 de maio de 2020.

NBR15129. **Luminárias para Iluminação**. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=091547>> Acesso em 15 de maio de 2020.

HARDWARE. **Arduino**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>> Acesso em 20 de outubro de 2020.

SCHUCH, Luciano. **Sistema autônomo de iluminação pública de alta eficiência baseado em energia solar e leds**. UFSM. 2011. Disponível em: <<https://sobraep.org.br/artigo/sistema-autonomo-de-iluminacao-publica-de-alta-eficiencia-baseado-em-energia-solar-e-leds/>>. Acesso em: 28 de maio de 2021.