

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

THIAGO FRANCISCO PAES ALVES

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO E
DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE ILUMINAÇÃO EM UMA GRANJA
DE PEQUENO PORTE.**

**MANAUS
2023**

THIAGO FRANCISCO PAES ALVES

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO E
DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE ILUMINAÇÃO EM UMA GRANJA
DE PEQUENO PORTE.**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Guzman del Rio

**Manaus
2023**

THIAGO FRANCISCO PAES ALVES

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO E
DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE ILUMINAÇÃO EM UMA GRANJA
DE PEQUENO PORTE.**

Projeto de pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de conclusão de Curso II e apresentado à banca avaliadora do curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nota obtida: 9.8 (Nove vírgula Oito)

Data em 31/08/2023



Prof. Dr. Daniel Guzman del Rio



Prof. Dr. Jozias Parente de Oliveira



Prof. Pierre Macedo

Manaus

2023

Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Escola Superior de tecnologia – EST

Reitor:

André Luiz Nunes Zogahib

Vice – Reitor:

Katia do Nascimento Couceiro

Diretora da Escola Superior de Tecnologia:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Israel Gondres Torné

Banca Avaliadora composta por:

Data da defesa: 31/08/2023

Prof. Dr. Daniel Guzman del Rio (Orientador)

Prof. Dr. Jozias Parente de Oliveira (Avaliador I)

Prof. Pierre Macedo (Avaliador II)

CIP - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Alves, Thiago Francisco Paes

Projeto e Implantação de um sistema solar fotovoltaico e de um sistema de automação de iluminação em uma granja de pequeno porte./ Thiago Francisco Paes Alves; [orientador por] Daniel Guzman del Rio, Dr –Manaus: 2023. 59 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia elétrica). Universidade do estado do Amazonas, 2023.

1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. Energias Renováveis; 3.Custo-Benefício.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, minha família e meus amigos que insistiram em mim e me ajudaram a chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela capacidade de escrever essa pesquisa, agradeço meus pais que sempre investiram em mim, agradeço minha família que é a minha base, agradeço aos meus amigos por estarem presentes em todos os momentos da graduação incentivando e auxiliando mesmo nos momentos mais desafiadores, e agradeço ao meu orientador Prof. Daniel Guzman del Rio que com entusiasmo me aconselhou neste trabalho.

RESUMO

Buscando uma alternativa aplicável para solucionar problemas no desenvolvimento dos interiores do estado do Amazonas relacionados a falta de energia e de recursos tecnológicos. Este trabalho tem o objetivo abordar o projeto e a implantação de um gerador solar fotovoltaico em uma granja de pequeno porte, bem como a automatização da iluminação do local, descrevendo os procedimentos técnicos, projeto elétrico e tecnologia utilizada, para por fim realizar uma análise financeira do sistema através de indicadores econômicos como taxa de investimento de retorno e *payback* para mensurar o ganho real com a implementação do sistema, resultando em um apuramento da viabilidade do sistema em um ambiente real.

Palavras-Chave: Energia Solar Fotovoltaica; Energias Renováveis; Custo-Benefício.

ABSTRACT

Searching for an applicable alternative to solve problems in the development of the interiors of the state of Amazonas related to lack of energy and technological resources. This work aims to address the design and implementation of a photovoltaic solar generator in a small farm, as well as the automation of local lighting, describing the technical procedures, electrical design and technology used, to finally perform a financial analysis of the system through economic indicators such as rate of return investment and payback to measure the real gain with the implementation of the system, resulting in a clearance of the viability of the system in a real environment.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy; Renewable Energies; Cost-Benefit.

Lista de Abreviaturas e Siglas

SIN – Sistema Interligado Nacional

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ONS – Operador Nacional do Sistema

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética

ENEL – Entidade Nacional de Eletricidade

CRECESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Infraestrutura Energética do Amazonas – Demanda Máxima (kWh)..... | 8 |
| Figura 2 - Demonstração Comparativa entre geração centralizada e geração distribuída..... | 10 |
| Figura 3 – Célula fotovoltaica policristalina e monocristalina..... | 16 |
| Figura 4 – Esquematização de um sistema on grid..... | 17 |
| Figura 5 – Esquematização de um sistema on grid..... | 17 |
| Figura 6 – Esquematização de um sistema off grid..... | 18 |
| Figura 7 – Fluxograma de um sistema off grid..... | 18 |
| Figura 8 – Painel fotovoltaico Intelbras EMP 330P..... | 19 |
| Figura 9 – Controlador de carga solar..... | 20 |
| Figura 10 – Inversor Solar grid-tie Fronius. | 21 |
| Figura 11 – Baterias Estacionárias FNC12V-C..... | 24 |
| Figura 12 – Arduino UNO R3. | 25 |
| Figura 13 – Light Dependent Resistance. | 26 |
| Figura 14 – Curva de resistência do LDR. | 26 |
| Figura 15 – Display LCD..... | 27 |
| Figura 16 – Local escolhido para implantação do gerador fotovoltaico..... | 31 |
| Figura 17 – Local escolhido para implantação do gerador fotovoltaico. | 32 |
| Figura 18 – Dimensionamento do projeto a partir da plataforma Solarfy..... | 33 |
| Figura 19 – Painel Fotovoltaico Jinko Solar Tiger Neo 460 Wp..... | 34 |
| Figura 20 – Estrutura Metálica para fixação dos painéis Fotovoltaicos. | 35 |
| Figura 21 – Estrutura Metálica para fixação dos painéis Fotovoltaicos..... | 36 |
| Figura 22 – Inversor Solar Growatt de 10 kW..... | 38 |
| Figura 23 – Diagrama unifilar do gerador solar fotovoltaico de 10 kW. | 39 |
| Figura 24 – Diagrama em blocos de montagem de Hardware Simplificado. | 40 |
| Figura 25 – Módulo RTC. | 40 |
| Figura 26 – Circuito de captação de luz. | 41 |
| Figura 27 – Circuito de captação de luz. | 42 |
| Figura 28 – Arduino Uno R3. | 42 |
| Figura 29 – Display LCD com Módulo de Comunicação I2C. | 43 |
| Figura 30 – Display LCD com Módulo de Comunicação I2C. | 43 |
| Figura 31 – Módulo Relé modelo SRD-05VDC-SL-C. | 44 |
| Figura 32 – Fluxograma de conexões e funcionamento do sistema. | 45 |
| Figura 33 – Fluxograma de lógica de programação do sistema. | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 34 – Sistema Físico Implementado..... | 47 |
| Figura 34 – Fluxo de caixa em 25 anos. | 50 |
| Figura 35 – Payback em 25 anos. | 50 |

Lista de Gráficos

| | |
|--|----|
| Gráfico 01 – Irradiação Solar no Local de Instalação. | 32 |
| Gráfico 02 – Gráfico de Geração Prevista x Consumo Médio. | 48 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 01 – Tabela de Irradiação Solar no Local de Instalação. | 33 |
| Tabela 02 – Tipo de conexão da potência do sistema de microgeração. | 36 |
| Tabela 03 – Equipamentos de proteção no inversor por potência do sistema. | 37 |
| Tabela 04 – Orçamento para definir custo de investimento... .. | 49 |

SUMÁRIO

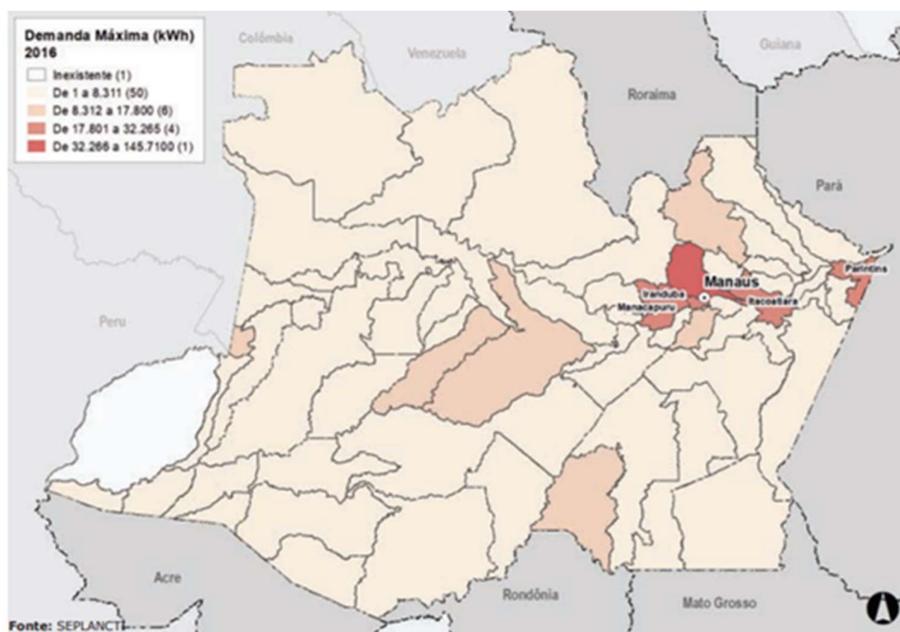
| | |
|---|-----------|
| INTRODUÇÃO | 15 |
| 1. REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 1.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA | 16 |
| 1.1.1 Geração Centralizada | 16 |
| 1.1.2 Geração Distribuída..... | 16 |
| 1.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS..... | 18 |
| 1.2.1 Energia Solar Fotovoltaica | 18 |
| 1.2.1.1 Pannel Fotovoltaico | 22 |
| 1.2.1.2 Controladores de Carga..... | 23 |
| 1.2.1.3 Inversor | 24 |
| 1.2.1.4 Baterias..... | 26 |
| 1.3 DISPOSITIVOS DE CONTROLE PARA AUTOMAÇÃO..... | 28 |
| 1.3.1 Controladores | 28 |
| 1.3.2 Sensores | 29 |
| 1.3.3 Periféricos | 30 |
| 1.4 ESTUDO DE INVESTIMENTOS..... | 30 |
| 1.4.1 Valor Presente Líquido (VLP) | 31 |
| 1.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)..... | 32 |
| 1.4.3 Payback | 33 |
| 2. METODOLOGIA | 34 |
| 2.1 PROJETO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO | 34 |
| 2.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE ILUMINAÇÃO | 42 |
| 2.2.1 SUBSISTEMAS E MATERIAIS UTILIZADOS..... | 43 |
| 2.2.1.1 Módulo RTC | 43 |
| 2.2.1.2 Circuito de Captação de luz..... | 44 |
| 2.2.1.3 Arduino Uno R3 | 45 |
| 2.2.1.4 Display LCD | 46 |
| 2.2.1.5 Módulo Relé..... | 47 |
| 2.2.2 IMPLEMENTEÇÃO..... | 48 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 51 |
| 3.1 Produção do Sistema Solar Fotovoltaico..... | 51 |
| 3.2 Custo de Investimento | 52 |
| 3.3 Análise de Investimento | 53 |
| CONCLUSÃO | 55 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 56 |
| APENDICE A | 59 |

INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos surgiram preocupações com a emissão dos gases gerados por meio da queima de combustíveis fósseis. Embora fosse para a geração de energia, no caso das termelétricas, a poluição causada prejudicou a fauna e flora de vários ecossistemas diferentes. Assim a solução foi buscar meios de amenizar essa emissão desenfreada utilizando alternativas de geração de energia. Dessa forma a energia solar foi uma dessas soluções, apesar da baixa eficiência das células embutidas nas placas e seu descarte após sua vida útil. (PARIDA, 2011)

A formulação de modelos de agronegócios que necessitam de alimentação constante de energia elétrica nos interiores do Amazonas é um desafio, tendo em vista que a maior parte do território do Estado do Amazonas não é coberto pelo sistema do SIN – Sistema Interligado Nacional. No entanto em sistemas elétricos não ligados ao SIN, como é o caso da maior parte do território amazonense, a infraestrutura energética não é bem desenvolvida como mostra a Figura 1, sendo que a fonte primária de energia elétrica da região norte é proveniente da queima de material térmico, principalmente da queima do diesel que não é refinado no país, causando impacto no valor da energia elétrica tornando mais caro o valor do kWh.

Figura 1 – Infraestrutura Energética do Amazonas – Demanda Máxima (kWh).



Fonte: Amazonas em Mapas (2018)

O objetivo deste trabalho é fazer o projeto e a implementação de um Sistema de Geração Fotovoltaica On-Grid juntamente com a Automação da Iluminação de uma Granja de pequeno porte localizada no bairro Puraquequara em Manaus, com intuito de atestar a viabilidade desse tipo de investimento nos interiores do estado do Amazonas.

Antes de introduzir a aplicação do conteúdo, é necessária uma pequena revisão dos fundamentos e conceitos básicos sobre geração de energia elétrica, energias renováveis na perspectiva da geração solar fotovoltaica, tipos de sistemas fotovoltaicos, componentes de um sistema fotovoltaico, e conceitos sobre os componentes utilizados na automação do estabelecimento. Bem como índices financeiros para atestar a viabilidade do projeto.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A geração de energia elétrica é um conceito fundamental necessário para o desenvolvimento do sistema projetado neste documento. A geração da energia elétrica trata-se do ato de transformar outros tipos de energia encontrados na natureza em energia elétrica, por meio de técnicas, mecanismos e ferramentas que realizam trabalho e tem como produto diferença de potencial elétrico e corrente elétrica. Atualmente existem 2 modelos principais de geração de energia elétrica: Geração centralizada e geração distribuída.

1.1.1 Geração Centralizada

A Geração Centralizada ocorre quando a energia elétrica é produzida em grandes escalas por fábricas, e posteriormente é transmitida por linhas de transmissão até o seu centro de distribuição e consumo local como demonstra a Figura 2. Como visto pelos dados da ONS informados na problemática, a maior parte da geração de energia elétrica no Brasil se dá por meio de geração hidráulica devido ao grande potencial hídrico do país.

1.1.2 Geração Distribuída

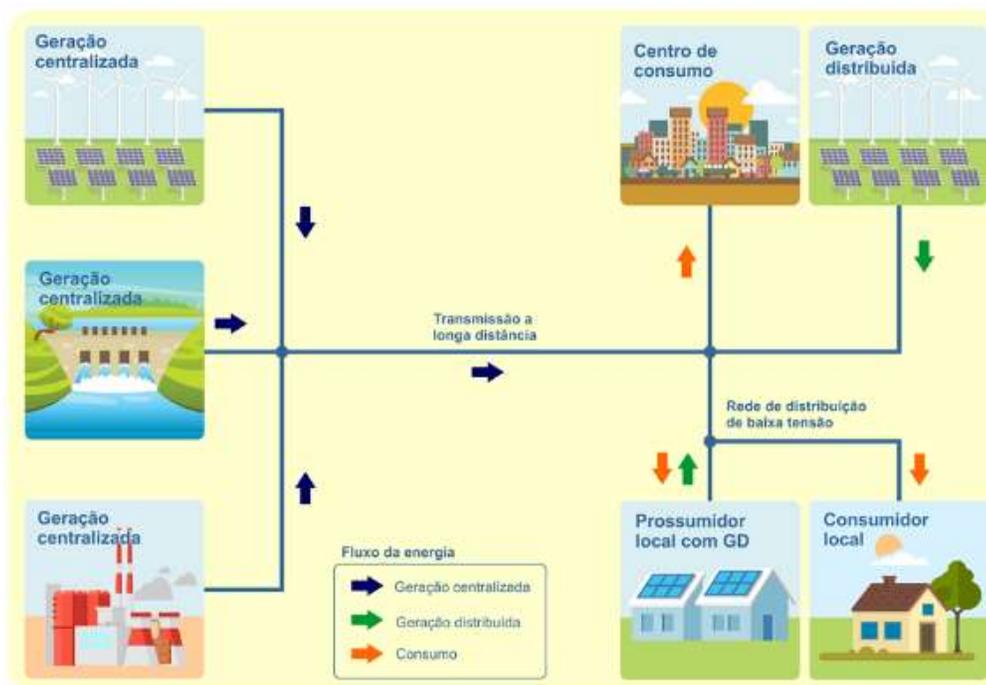
A Geração Distribuída de Energia ocorre quando a geração de energia é realizada na localidade do consumo independente da potência, tecnologia e fonte de energia, conforme a Figura 2.

A geração elétrica junto do consumidor era essencial quando a energia industrial era praticamente toda gerada localmente. Foi apenas na década de 1940 que essa situação mudou, à medida que a geração de energia de grandes usinas se tornou mais barata, resultando na queda do interesse do consumidor no GD e, conseqüentemente, no desenvolvimento tecnológico que levou ao encerramento desta produção de eletricidade, de acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE).

Atualmente, se torna cada vez mais comum o uso de geração distribuída no Brasil com a instituição de leis como a Lei 10.848/04 que permite o uso desta modalidade no país, e com incentivos econômicos e queda de preços nos equipamentos.

O crescimento da geração distribuída nos próximos anos parece inexorável e alguns autores fazem uma analogia com o crescimento do micro-computador com relação aos grandes computadores centrais (“main frames”). (INEE)

Figura 2 – Demonstração Comparativa entre geração centralizada e geração distribuída.



Fonte: Canal Solar (2021).

1.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Ao discutir a respeito do uso de energia elétrica na atualidade é necessário contextualizar a participação das energias renováveis. As fontes de energias renováveis são fontes alternativas que utilizam agentes da natureza como o vento, o sol, as marés e a biomassa para gerar energia elétrica.

As principais características que definem essas fontes como renováveis são:

- Fontes Inesgotáveis: São inesgotáveis pois são abundantes na natureza, de forma que sua regeneração na natureza ocorre em tempo hábil e de forma espontânea, tal que não haverá escassez desse recurso para as gerações futuras;
- Fontes Limpas: Não produzem impacto ambiental, ou produzem um impacto ambiental pouco significativo se comparado aos meios não renováveis de geração de energia elétrica;

O destino das energias renováveis é se tornar a fonte mais vantajosa de eletricidade para o planeta e para o desenvolvimento econômico. Porque a energia renovável, quando é produzida com uma visão integrada, é capaz de atravessar toda a cadeia de valor – do local de produção até os fornecedores – e numa ótima de mitigação dos impactos sobre o território de comunidades, resulta ser realmente e totalmente sustentável. (ENEL)

1.2.1 Energia Solar Fotovoltaica

Os raios solares são um dos recursos mais abundantes no planeta Terra, a energia solar fotovoltaica trata-se de converter a radiação proveniente da incidência solar em diferença de potencial elétrico através de módulos fotovoltaicos, estes módulos são compostos por células de materiais semicondutores que ao serem excitados pela luz geram o efeito fotovoltaico.

As células são derivadas de semicondutores como silício, telureto de cádmio, cobre e disseleneto de índio. O silício é um componente químico que pode ser industrializado em diversas formas como policristalino, monocristalino, amorfo, filme fino, orgânicas e poliméricas. Devido à flexibilidade de manipulação de silício e da melhor eficiência e confiabilidade estabelecida em comparação às outras tecnologias, a tecnologia do silício cristalino equivale a 92,5% do mercado fotovoltaico. (LOEBLEIN, 2013).

A essência da célula consiste em conectar duas camadas de semicondutores, sendo uma dopada positivamente e a outra negativamente, criando um campo elétrico entre elas.

A operação é muito semelhante à da junção p-n. Quando a luz solar incide sobre uma célula fotovoltaica, são liberados elétrons, que são direcionados através do campo elétrico na junção p-n, criando uma corrente elétrica. O valor atual é proporcional à radiação solar incidente. Assim, quanto maior a radiação, maior a corrente. (MACHADO; MIRANDA, 2015.)

A radiação solar que chega à superfície pode ser decomposta em planos. O plano horizontal com a radiação global sendo a soma das radiações direta e difusa e o plano inclinado que além das componentes direta e difusa tem o acréscimo de uma parcela de radiação refletida na superfície e dos elementos ao redor (SOUZA, 2011).

Figura 3 – Célula fotovoltaica policristalina e monocristalina.



Fonte: Sol Central (2015).

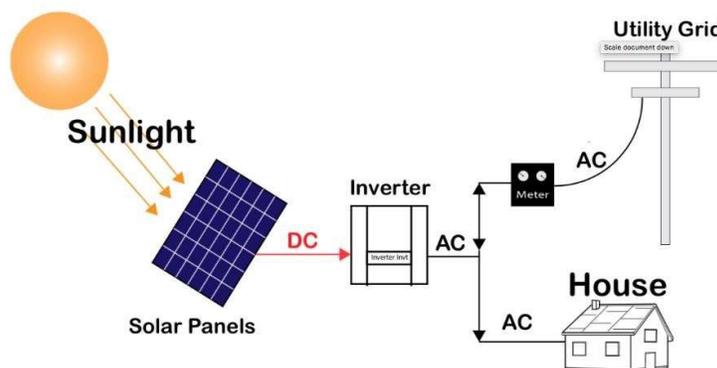
Há dois sistemas fotovoltaicos mais conhecidos: *on grid* (conectado à rede) e *off grid* (isolado). O sistema *on grid*, ilustrado na Figura 4, dispensa uso de baterias por não necessitar de armazenamento, já que toda a energia gerada pelos painéis será devolvida à rede. Desse modo é liberado um crédito com a concessionária o qual será descontado da fatura de energia no fim do mês. Assim é feito um balanço do que foi consumido e o que foi gerado na microgeração (RÜTHER, 2004). Na Figura 5 é ilustrado o fluxograma de um sistema *on grid*.

Figura 4 – Esquematização de um sistema on grid.



Fonte: COOPE SOLAR (2017).

Figura 5 – Esquematização de um sistema on grid



.Fonte: NT Energy Solutions (2020)

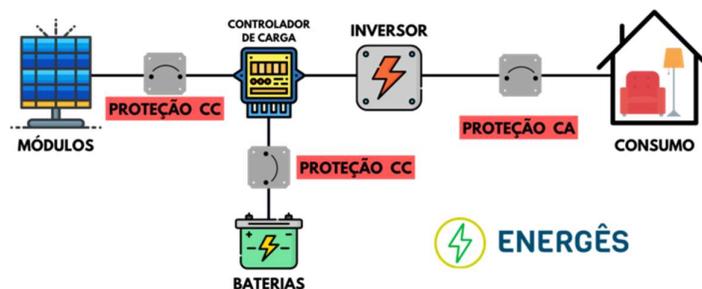
O sistema *off grid*, como o próprio nome já indica, é isolado e, portanto, precisa de armazenamento. Nas Figuras 6 é ilustrada esquematização de um sistema *off grid*. Durante o dia, os painéis geram energia e o banco de baterias a acumulam. Durante a noite, onde não se encontra mais a fonte de energia principal, o Sol, as baterias descarregam, fornecendo energia para o complexo residencial ou comercial. Caso as baterias estejam carregadas pela manhã, elas também podem contribuir para o abastecimento energético do local (RÜTHER, 2004). Na Figura 7 é ilustrado o fluxograma de um sistema *off grid*.

Figura 6 – Esquemática de um sistema off grid.



Fonte: COOPE SOLAR (2017).

Figura 7 – Fluxograma de um sistema off grid.



Fonte: ENERGÊS (2020).

Um sistema de energia solar fotovoltaica off-grid (desligado da rede elétrica da concessionária) possui geralmente 4 componentes básicos, estes são: Painel ou módulo fotovoltaico, controlador de carga, inversor e baterias. Cada elemento será apresentado nos tópicos abaixo.

1.2.1.1 Painel Fotovoltaico

Um painel ou módulo fotovoltaico é um equipamento gerador de energia elétrica formado por um conjunto de células fotovoltaicas, ou seja, quando ocorre a incidência de luz sobre ele é gerada uma corrente elétrica. É um equipamento simples pois não necessita de movimentação mecânica para seu funcionamento, não apresenta desperdícios e quase não requer nenhuma manutenção. A Figura 8 mostra um painel fotovoltaico da marca Intelbras.

Figura 8 – Painel fotovoltaico Intelbras EMP 330P.



Fonte: Intelbras (2018).

Normalmente, a potência do módulo é dada pela potência de pico, expressa em watts pico (Wp). No entanto, existem outras características elétricas que melhor descrevem a função do módulo. As principais são (CRESESB, 2006):

- **Voltagem de Circuito Aberto (Voc):** Máxima tensão que um dispositivo pode entregar sob condições determinadas de radiação e temperatura, correspondendo à circulação de corrente nula e, conseqüentemente, à potência nula;
- **Corrente de Curto-Circuito (Isc):** Máxima corrente que pode entregar um dispositivo sob condições determinadas de radiação e temperatura, correspondendo à tensão nula e, conseqüentemente, à potência nula;
- **Potência Máxima (Pm):** É o valor máximo de potência que pode entregar o dispositivo. Corresponde ao ponto da curva no qual o produto $V \times I$ é máximo;

- Voltagem de Máxima Potência (V_{mp}): É a única tensão para qual a potência máxima poderá ser extraída;
- Corrente de Máxima Potência (I_{mp}): Corrente que o dispositivo entrega para potência máxima sob condições determinadas de radiação e temperatura.

Existem muitas variações de painéis fotovoltaicos, mas um exemplo típico de painel é o de 1,90m x 1,13m de 460Wp que pesa cerca de 24 kg. Dependendo do uso pretendido e da tecnologia usada, a potência do modelo é estimada para sua aplicação, e sua potência é dada em watts pico (Wp). Um sistema fotovoltaico pode ter vários painéis fotovoltaicos e ser montado de várias maneiras. Desta forma, você pode usar a potência desejada e a tensão de saída necessária.

1.2.1.2 Controladores de Carga

O controlador ou regulador de carga é um dos principais componentes do sistema solar fotovoltaico e é responsável pela vida útil das baterias cujo cuidado deve ser de grande porte, visto que é um dos componentes mais caros do sistema. A função do regulador de carga é evitar que a bateria seja sobrecarregada ou profundamente descarregada, garantindo assim que toda a energia gerada pelo painel fotovoltaico seja armazenada na bateria com mais eficiência. Esses controladores são utilizados em dispositivos de baixa tensão e corrente contínua (CC) (CRESESB, 2006).

Esses controladores são usados para desconectar o sistema do painel fotovoltaico quando a bateria estiver totalmente carregada e retomar o trabalho quando a bateria estiver com carga baixa, para que a bateria tenha uma vida útil longa.

Figura 9 – Controlador de carga solar



Fonte: Aliexpress (2023).

1.2.1.3 Inversor

Durante a conversão da energia solar em elétrica, a tensão gerada no painel fotovoltaico é do tipo contínua, o que é um problema pois os equipamentos alimentados por este tipo de tensão são limitados (dispositivos eletrônicos). Os inversores são muito importantes para converter corrente contínua (DC) em corrente alternada (AC) para fornecer energia a dispositivos que operam apenas nesta tensão. Também tem a função de garantir a segurança do sistema e medir a energia produzida pelos painéis solares. O dimensionamento do inversor deve ter como base a potência nominal, o fator de demanda e as condições de operação das diferentes cargas (CRESESB, 2013). Na Figura 10 é ilustrado o exemplo de um inversor solar grid-tie Fronius.

Figura 10 – Inversor Solar grid-tie Fronius.



Figura 10 – Inversor Solar grid-tie Fronius.

Fonte: ELYSIA (2017).

Os parâmetros os quais devem ser levados em consideração na hora de especificar o inversor fotovoltaico (PINHO, 2014) são:

- Compatibilidade eletromagnética: como os inversores realizam comutação de alta frequência, eles podem se tornar componentes que geram interferência eletromagnética, podendo danificar outros equipamentos eletrônicos (principalmente equipamentos de telecomunicações);
- Consumo de potência sem carga: é a quantidade de potência que o inversor utiliza, mesmo quando nenhuma carga está sendo alimentada. Para reduzir o autoconsumo, alguns inversores monitoram continuamente a sua saída, detectando se alguma

carga está sendo usada e passam a operar efetivamente apenas a partir do momento em que uma carga é detectada;

- Fator de Potência: a carga mais comum em sistemas residenciais é indutiva, com um fator de potência de até 0,5. Os melhores inversores são projetados para compensar cargas indutivas e manter o fator de potência próximo a 1, maximizando assim a transferência de potência para a carga. Espera-se que a carga tenha um alto fator de potência, pois isso reduzirá a corrente necessária para qualquer nível de potência. O fator de potência nominal do inversor deve ser compatível com o fator de potência exigido pela carga. Se os fatores de potência das cargas não forem incluídos em suas especificações, eles poderão ser obtidos do fabricante;
- Frequência da tensão de saída: indica a frequência de saída de tensão CA pelo inversor. No Brasil, a frequência de operação de equipamentos elétricos convencionais usados como cargas em corrente alternada é de 60 Hz.;
- Grau de proteção: a classe de proteção IP (Ingress Protection) classifica e avalia a proteção de pessoas contra o contato com partes energizadas sem isolamento; proteção contra contato com partes móveis dentro da caixa e proteção contra entrada de corpos estranhos (incluindo partes do corpo como mãos e dedos) e um grau de proteção contra penetração de poeira e contato acidental com água em caixas mecânicas e elétricas. O grau específico de proteção IP varia dependendo do ambiente no qual o inversor está instalado, esteja ele alojado em um gabinete ou não. Normalmente, para ambientes sem teto, o grau de proteção é definido como IP54 ou melhor, e para ambientes protegidos IP20 ou melhor;
- Modularidade: em alguns sistemas, o uso de vários inversores é muito benéfico. Alguns modelos de inversores podem ser conectados em paralelo para lidar com diferentes cargas. Às vezes, um chaveamento de carga manual é fornecido para que o inversor possa suportar as cargas críticas em caso de falha. Este recurso aumenta a confiabilidade do sistema;
- Potência de surto: indica que a capacidade do inversor excede sua potência nominal por um período. Aplicável apenas a inversores de sistemas isolados. Deve determinar a demanda de surto de uma carga específica;
- Potência nominal de saída: indica a energia que o inversor pode fornecer continuamente à carga. Em um sistema isolado, deve-se considerar que a potência

fornecida ao inversor é sempre maior que a demanda máxima da carga conectada para considerar o aumento instantâneo da demanda de potência;

- Taxa de utilização: é o número de horas que o inversor será capaz de fornecer energia funcionando na potência nominal;
- Temperatura e umidade do ambiente: A temperatura ambiente máxima do local de instalação onde a potência nominal do inversor é necessária deve ser mencionada, porque a temperatura de operação do inversor afetará sua eficiência. Deve-se sempre especificar a dissipação de calor por convecção natural (sem partes móveis, como ventiladores, pois essas partes exigem maior manutenção além do consumo de energia), e o local de instalação deve ter ventilação adequada. Além disso, a umidade relativa do ambiente deve ser avaliada e a proteção adequada (por exemplo, isolamento da resina de circuitos eletrônicos) deve ser exigida a este respeito;
- Tensão de entrada: é a tensão contínua do inversor. Conforme mencionado anteriormente, os valores mais comumente usados no Brasil são 12V, 24V e 48V, que geralmente são fornecidos por baterias e devem ser compatíveis com os requisitos de entrada do inversor. Para manter a corrente contínua em um nível aceitável, a tensão de entrada do inversor deve ser especificada de acordo com a potência necessária para a carga do sistema fotovoltaico. Quando a bateria está descarregada e a tensão do sistema cai abaixo do valor mínimo especificado, o inversor pode ser capaz de desconectar automaticamente a carga para executar a função LVD do controlador de carga.;
- Tensão de saída: é ajustável na maioria dos inversores e sua seleção em sistemas isolados depende da tensão de operação das cargas. No Brasil, dependendo da região ou cidade, são utilizados valores de 127 ou 220 V, sempre em 60 Hz.

1.2.1.4 Baterias

Uma bateria, também conhecida como acumulador elétrico, é um dispositivo que foi desenvolvido para armazenar a energia elétrica na forma química e disponibilizá-la, quando necessário, na forma de energia elétrica novamente, com uma determinada eficiência. (NEWMAX, 2019)

A capacidade de armazenamento de uma bateria representa a quantidade de corrente elétrica em Amperes que ela consegue fornecer por um determinado tempo em horas até atingir uma tensão final estabelecida. Sua unidade é dada em Ampère-hora(Ah). Por exemplo: Uma bateria 12V 100Ah é capaz de fornecer 10A por 10 horas até atingir a tensão final de 10,5V. Assim, sua capacidade é o cálculo da corrente de descarga pelo tempo de autonomia. (NEWMAX, 2019). A Figura 11 mostra um grupo de baterias estacionárias.

Figura 11 – Baterias Estacionárias FNC12V-C.



Fonte: NEWMAX (2023)

O estudo sobre sistemas automatizados envolve entre muitos fatores o domínio sobre cada componente integrado ao sistema, apesar de haver diversas aplicações todo sistema de monitoramento automatizado com uso de controle elétrico possui componentes básicos. Estes componentes seriam: Controlador, sensor, atuador e periféricos. Onde cada componente desenvolve uma atividade dentro do sistema.

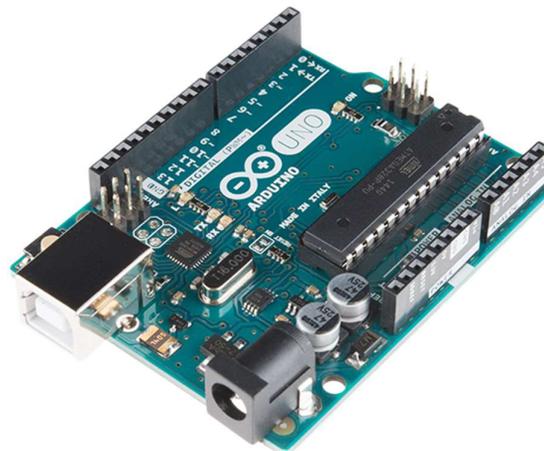
1.3 DISPOSITIVOS DE CONTROLE PARA AUTOMAÇÃO.

1.3.1 Controladores

Os controladores são dispositivos utilizados para automatizar processos de um sistema, eles responsáveis pela manipulação de informações de entrada e saída em componentes do sistema, esses dispositivos são programados por uma interface para realizar uma tarefa. Eles realizam a administração da tarefa que o sistema vai executar comunicando os sensores, atuadores e periféricos. Geralmente estes dispositivos possuem memória e registradores para executar suas instruções. Um dos controladores mais comuns no ambiente acadêmico e industrial é o Arduino.

O sistema Arduino é um projeto de hardware de fonte aberta, o que significa que todos os seus detalhes são publicados e gratuitos, de modo que qualquer um pode montar (e até mesmo vender) um sistema Arduino. Ele é baseado no microprocessador RISC de 8 bits Atmel AVR, e a maioria dos projetos de placa também inclui suporte básico para E/S. A placa é programada usando uma linguagem de programação embutida, chamada Wiring, que tem embutidos todos os balangandãs exigidos para controlar dispositivos em tempo real. O que torna a plataforma Arduino divertida de usar é sua comunidade de desenvolvimento grande e ativa. Existem milhares de projetos publicados usando o Arduino, variando desde um farejador de poluentes eletrônico até uma jaqueta de ciclismo com sinais de seta, um detector de umidade que envia e-mail quando uma planta precisa ser aguada e um avião autônomo não pilotado. (TANENBAUM, 2013)

Figura 12 – Arduino UNO R3.



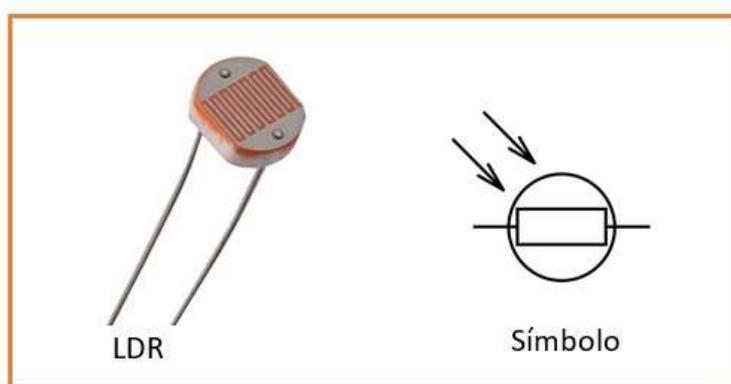
Fonte: Robocore (2023).

1.3.2 Sensores

O sensor é um dispositivo que tem a função de detectar e responder com algum estímulo seja ele físico ou químico. Existem vários tipos de sensores que respondem a estímulos diferentes como por exemplo: calor, pressão, movimento, luz e outros. Depois que o sensor recebe o estímulo, a sua função é emitir um sinal elétrico que seja capaz de ser convertido e interpretado por outros dispositivos.

Um sensor muito comum no ambiente acadêmico é o LDR – Light Dependent Resistance, conforme propriamente a tradução diz é um resistor que varia sua resistência conforme a intensidade luminosa incidente sobre sua superfície, a variação do sinal elétrico sobre o componente pode ser interpretada pelo controlador para obtenção de dados de iluminação do ambiente em que o sensor está disposto.

Figura 13 – Light Dependent Resistance.



Fonte: Manual da Eletrônica (2023).

Figura 14 – Curva de resistência do LDR.

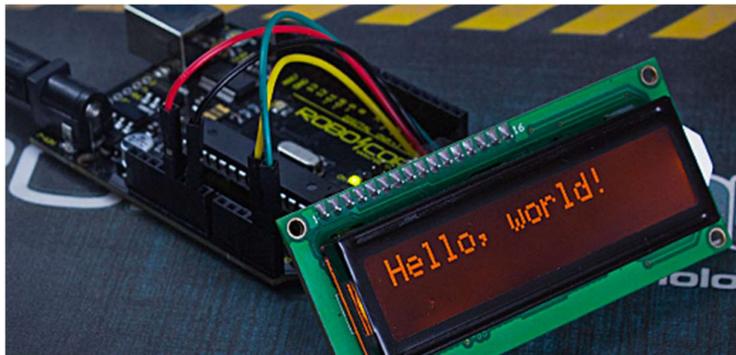


Fonte: Manual da Eletrônica (2023).

1.3.3 Periféricos

Os periféricos são dispositivos instalados no sistema automatizado que auxiliam a interação homem/máquina. Geralmente estes dispositivos se comunicam com o sistema do controlador trocando dados entrada/saída durante a interação dos usuários. Um exemplo de periférico é o display LCD (Figura 15), que funciona como periférico de saída de dados.

Figura 15 – Display LCD.



Fonte: Robocore (2023).

1.4 ESTUDO DE INVESTIMENTOS.

O estudo de investimentos tem o objetivo determinar indicadores de viabilidade econômica e financeira os mais próximos da realidade. Segundo Henrique Hirschfeld (1989) para tornar os estudos de viabilidade econômico-financeira o mais próximo possível da realidade, é importante partir de cenários reais, ter um bom modelo matemático para calcular os indicadores e interpretá-los de acordo com critérios de decisão específicos.

Portanto, serão abordados nesta etapa 3 modelos de avaliação de viabilidade econômico-financeira:

- VPL – Valor Presente Líquido.
- TIR – Taxa Interna de Retorno.
- Payback.

1.4.1 Valor Presente Líquido (VLP)

O VPL é o método que consiste em trazer para a data zero todos os fluxos de caixa de um projeto de investimento e os somar ao valor do investimento inicial, utilizando como taxa de desconto a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) (CAMARGO, 2017). O VPL é análise de fluxo de caixa líquido, permitindo avaliar o investimento em comparação com o retorno. Este indicador pode ser dado pela equação:

$$V_{PL} = \sum_{j=1}^N \frac{F_{ct}}{(1+i)^t} - \text{Investimento Inicial} \quad [1]$$

VLP = Valor presente líquido (R\$);

FCt = Fluxo de caixa no período t (R\$);

t = momento em que o fluxo de caixa ocorreu (Anos);

i = Taxa mínima de atratividade (TMA) (%);

N = Período de tempo (Anos).

A partir do valor é possível determinar 3 tipos de cenários possíveis:

- VPL < 0: rejeita-se o projeto de investimento, uma vez que os retornos não cobrirão o capital investido somado ao retorno mínimo exigido pelo investidor;
- VPL = 0: o projeto de investimento apresenta-se indiferente, pois não oferece qualquer vantagem além de cobrir o capital investido acrescido do retorno mínimo exigido pelo investidor;
- VPL > 0: aceita-se o projeto de investimento pois os retornos oferecidos cobrirão o capital investido somado ao retorno mínimo exigido pelo investidor.

1.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é a taxa em que, empregada como a taxa de desconto no cálculo do VPL faz com que seu valor fique igual a zero. Em outras palavras, a taxa interna de retorno representa a média periódica de retorno de um projeto que possa repor, de forma integral e exata, o investimento realizado (BROM; BALIAN, 2007). A equação que representa esse indicador é:

$$V_{PL} = 0 = \sum_{j=1}^N \frac{Fct}{(1 + TIR)^t} - Investimento\ Inicial \quad [2]$$

VLP = Valor presente líquido (R\$);

FCt = Fluxo de caixa no período t (R\$);

t = momento em que o fluxo de caixa ocorreu (Anos);

TIR = Taxa Interna de Retorno (%);

N = período de tempo (Anos).

Ao se analisar o TIR em comparação com a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) é possível se obter os seguintes cenários para o VPL:

- TIR < TMA; VPL é negativo, então rejeita-se o investimento pois o projeto não é capaz de devolver o capital investido, rejeitando-se o investimento;
- TIR = TMA; VPL será igual a zero, então é indiferente realizar ou não o investimento;
- TIR > TMA; VPL é positivo e o projeto é atrativo por retornar o capital investido além de outro valor adicional, aceitando-se o investimento.

1.4.3 Payback

O payback é o tempo necessário para recuperar o custo de investimento. Seria a indicação do período de recuperação do investimento, o prazo no qual os rendimentos tornam-se iguais ao valor que foi investido (REIS, 2018).

Para este estudo, basta a aplicação de payback simples, que leva em consideração o valor do investimento durante o tempo, mas existem outros tipos de payback que fazem consideração de valores descontados para acompanhamento do valor do dinheiro no período de tempo. O payback simples pode ser dado pela seguinte equação:

$$Payback = \frac{Investimento(\%)}{Economia Anual (\%)} \quad [3]$$

2 METODOLOGIA

Este trabalho é uma pesquisa aplicada, com intuito de usar uma abordagem explicativa do material bibliográfica, e fazendo uso de pesquisas de campo, coleta de dados reais, simulações, análises por método hipotético-dedutivo e procedimento monográfico no dimensionamento do sistema solar fotovoltaico e no desenvolvimento do sistema de automação de iluminação proposto.

2.1 PROJETO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

O projeto do sistema solar fotovoltaico foi desenvolvido em etapas, na qual a primeira foi determinar o tamanho do gerador a ser projetado a partir da análise de fatura da granja, na qual foi determinada um consumo médio mensal de 800 kWh e um consumo médio anual de 9600 kWh ano.

Determinada a demanda a ser gerada, foi realizada uma visita técnica no local de instalação para demarcar algum possível ajuste a ser considerado no dimensionamento do projeto e dos equipamentos, o local escolhido foi uma granja de pequeno porte localizada no Ramal da Escola, N°180, Bairro do Puraquequara em Manaus. Devido o interesse em simular o comportamento desse sistema em uma zona ruralizada.

Figura 16 – Local escolhido para implantação do gerador fotovoltaico.



Fonte: Google Maps (2023).

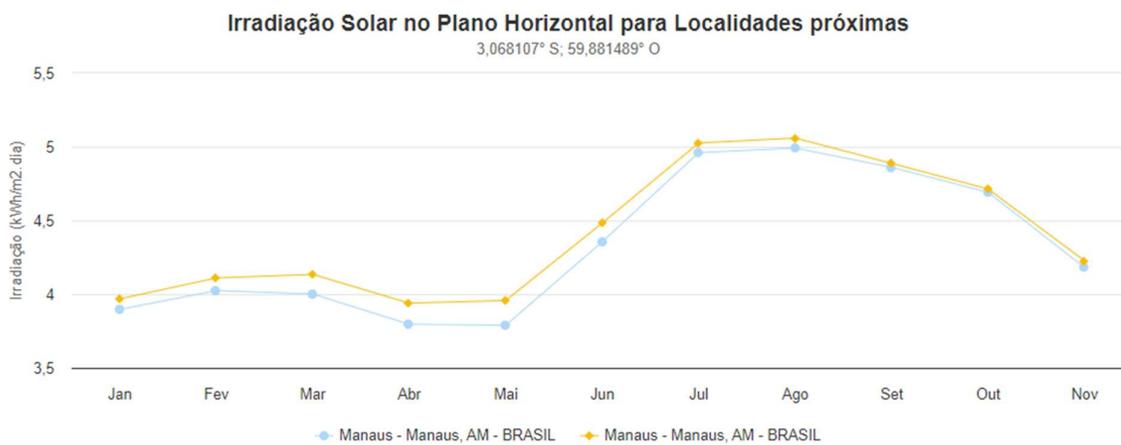
Figura 17 – Local escolhido para implantação do gerador fotovoltaico.



Fonte: Autoria Própria.

Um fator importante a ser considerado para o desenvolvimento do projeto de usina fotovoltaica é um estudo solarimétrico da região de instalação para determinar a adequação do sistema aos níveis de irradiação solar. Para isto foi utilizado a base de dados da CRECESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica).

Gráfico 01 – Irradiação Solar no Local de Instalação.



Fonte: CRECESB Data (2023).

Tabela 01 – Tabela de Irradiação Solar no Local de Instalação.

Estação: Manaus
Município: Manaus, AM - BRASIL
Latitude: 3,101° S
Longitude: 59,949° O
Distância do ponto de ref. (3,068107° S; 59,881489° O): 8,4 km

| # | Ângulo | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia] | | | | | | | | | | | | Média | Delta |
|-------------------------------------|-------------------------|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Plano Horizontal | 0° N | 3,97 | 4,11 | 4,13 | 3,94 | 3,96 | 4,48 | 4,49 | 5,03 | 5,06 | 4,89 | 4,71 | 4,23 | 4,42 | 1,12 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ângulo igual a latitude | 3° N | 3,91 | 4,07 | 4,13 | 3,97 | 4,02 | 4,59 | 4,58 | 5,09 | 5,07 | 4,85 | 4,64 | 4,15 | 4,42 | 1,19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maior média anual | 4° N | 3,89 | 4,06 | 4,13 | 3,98 | 4,04 | 4,62 | 4,61 | 5,11 | 5,08 | 4,84 | 4,61 | 4,12 | 4,42 | 1,23 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maior mínimo mensal | 1° N | 3,95 | 4,10 | 4,13 | 3,95 | 3,98 | 4,52 | 4,52 | 5,05 | 5,06 | 4,88 | 4,69 | 4,20 | 4,42 | 1,12 |

Fonte: CRECESB Data (2023).

Baseando-se nos dados obtidos pela CRECESB, pode-se definir que o nível médio de irradiação solar na localidade da instalação é de 4.42 kWh/m² por dia, esse valor é satisfatório para a geração de energia solar fotovoltaica, acusando que o local de instalação é propício para utilização desta fonte de energia.

Partindo para etapa de dimensionamento do sistema, foi utilizada como auxílio a ferramenta Solarfy, uma ferramenta para dimensionamento e geração de propostas de energia solar, esta ferramenta considera fatores técnicos para auxiliar no dimensionamento do gerador, plotando também a geração mensal do sistema em comparação ao consumo. Considerando painéis de 470 Wp, fator de correção do sistema de 15% devido pausas para manutenção e perdas por dias nublados ou chuvosos; E um aumento de consumo do local previsto pelo cliente de 25%. Foi projetado um sistema com a seguinte quantidade de painéis.

Figura 18 – Dimensionamento do projeto a partir da plataforma Solarfy .

Base de cálculo ✕

Potência dos painéis *

 W

Perda do sistema *

Largura *

 m

Altura *

 m

Aumento de consumo previsto

Geração do sistema
1.014,20 kWh

Qtd de painéis
20

Potência do sistema
9,20 kWp

Área mínima
42,94 m²

Fonte: Solarfy (2023)

Para fins comparativos também é possível calcular a quantidade de painéis de outra maneira, considerando que a quantidade de Horas de Sol Pico na localidade será um total de 4 horas, pode-se calcular a quantidade de painéis do gerador pela fórmula:

$$Qp = \frac{Cm}{Pp \cdot HSP \cdot Dias \cdot Fc} \quad [4]$$

Onde,

Qp = Quantidade de Painéis

Cm = Consumo médio (kWh)

Pp = Potência do painel (kWp)

HSP = Horas de Sol Pico (Hrs)

Fc = Fator de correção (%)

Considerando a equação acima munido dos dados coletados, tem-se que:

$$Qp = \frac{800+800 \cdot 0.25}{0.46 \cdot 4 \cdot 30 \cdot 0.85} \cong 20 \text{ painéis}$$

Desta forma, foram utilizados 20 painéis fotovoltaicos *Jinko Solar JKM460-60HL-4-V Tiger Neo* de 460 Wp de potência, estes que foram distribuídos na área determinada em *strings*, prevendo uma geração mensal de 1.014,2 kWh. Estes painéis fotovoltaicos possuem os seguintes dados técnicos:

Figura 19 – Painel Fotovoltaico Jinko Solar Tiger Neo 460 Wp.



Fonte: PHB Solar (2023)

Estes painéis fotovoltaicos possuem os seguintes dados técnicos:

- Potência no ponto máximo de potência - 460W
- Tensão no ponto máximo de potência - 34,2V
- Corrente no ponto máximo de potência - 13,45A
- Tensão em Circuito Aberto - 41,48V
- Corrente de Curto-Circuito - 14,01A
- Eficiência = 21,32%
- Tolerância de potencias positiva 0~+3%
- Temperatura Admissível para o Módulo em Operação Contínua -40 °C até +85 °C.
- Formato 1903 mm × 1134 mm × 30 mm (incluindo a estrutura)
- Peso 24,2 kg ± 5 %

Para fixação dos painéis fotovoltaicos em plano horizontal, o proprietário da localidade já havia construído uma plataforma metálica com auxílio de um profissional facilitando o acesso como mostram as Figuras 20 e 21. Sempre ressaltando a importância de visitas técnicas e ainda consultorias de profissionais de edificações e engenheiros especializados na parte estrutural, tendo em vista o teor técnico que não é abrangido pelo curso de engenharia elétrica.

Figura 20 – Estrutura Metálica para fixação dos painéis Fotovoltaicos.



Fonte: Autoria Própria

Figura 21 – Estrutura Metálica para fixação dos painéis Fotovoltaicos.



Fonte: Aatoria Própria

Para definição do inversor a ser utilizado no gerador, primeiramente definiu-se que os painéis seriam distribuídos em 3 *strings*, onde seriam duas *strings* com 6 painéis e uma *string* com 8 painéis para facilitar a manutenção, garantir o melhor cenário de aproveitamento de espaço disponível e facilitar a conexão dos painéis. Também a fim de atender a Norma Técnica de conexão de acessantes à rede de distribuição em baixa tensão - Microgeradores da Amazonas Energia, partindo da “Tabela 01 – Tipo de conexão em função da potência do sistema de microgeração” indicada na Tabela 02; e as normas da ANEEL sobre equipamentos de proteção indispensáveis por potência de geração do sistema, indicado na Tabela 03.

Tabela 02 – Tipo de conexão da potência do sistema de microgeração.

Tabela 1 - Tipo de conexão em função da potência do sistema de microgeração.

| Tensão do sistema | Tipo de conexão | Potência da geração |
|---|-----------------|---------------------|
| 220 V _{FF} /127 V _{FN} | Monofásico | ≤7,5 kW |
| | Bifásico | >7,5 a 15 kW |
| | Trifásico | ≥15 a 75 kW |
| 240V _{FF} /120 V _{FN} a 2 e 3 Fios | Monofásico | ≤7,5 kW |
| | Bifásico | >7,5 a 37,5 kW |

NOTA: As ligações citadas como bifásicas, são monofásicas à 3 fios (FFN).

Fonte: Amazonas Energia S.A (2022).

Tabela 03 – Equipamentos de proteção no inversor por potência do sistema.

| EQUIPAMENTO | Potência Instalada | | |
|---|--------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | < 10 kW | 10 kW a 500 kW ⁽⁴⁾ | > 500 kW ⁽⁴⁾ |
| Elemento de desconexão ⁽¹⁾ | Sim | Sim | Sim |
| Elemento de interrupção ⁽²⁾ | Sim | Sim | Sim |
| Transformador de acoplamento | Não | Sim | Sim |
| Proteção de sub e sobretensão | Sim ⁽³⁾ | Sim ⁽³⁾ | Sim |
| Proteção de sub e sobrefrequência | Sim ⁽³⁾ | Sim ⁽³⁾ | Sim |
| Proteção contra desequilíbrio de corrente | Não | Não | Sim |
| Proteção contra desbalanço de tensão | Não | Não | Sim |
| Sobrecorrente direcional | Não | Não | Sim |
| Sobrecorrente com restrição de tensão | Não | Não | Sim |

Fonte: ANEEL, Anexo III, pg.08.

A partir destes dados e da potência do sistema definida como 9.2 kWp foi dimensionado um inversor de 10 kW para atender a demanda. O inversor solar fotovoltaico escolhido foi o GROWATT ON-GRID MIN10000TL-X 10KW MONOFASICO 220V 3MPPT (Figura 22).

Figura 22 – Inversor Solar Growatt de 10 kW.



Fonte: Aldo Solar (2023).

Este inversor possui os seguintes dados técnicos:

- Tensão máx. de entrada - 600 VCC
- Tensão nominal de entrada - 360 VCC
- Corrente DC por MPPT - 13.5A
- Rastreadores de MPP - 3
- Potência nominal de saída - 10KW
- Tensão nominal - 220V (160V-300V)
- Frequência nominal - 50, 60Hz (54Hz -65 Hz)
- Corrente máx. de saída - 45.5A
- Proteção contra polaridade reversa CC
- Proteção de sobretensão CC
- Proteção de sobrecorrente de saída
- Monitoramento de falta de terra
- Monitoramento da rede elétrica
- Monitoramento de corrente de fuga em todos os pólos.

E por fim para seccionamento, proteção do sistema e com intenção de realizar futuras manutenções, foi dimensionado o disjuntor termomagnético que foi instalado na saída do inversor. Considerando os parâmetros do item 5.3.4.1 da NBR 5410, temos que a corrente nominal do disjuntor deve obedecer aos seguintes parâmetros:

$$I_B < I_D < I_C \quad [5]$$

$$1,60I_D \leq 1,45I_C \quad [6]$$

Onde,

I_B = Corrente de projeto (Corrente máxima de saída do Inversor)

I_D = Corrente do Disjuntor

I_C = Corrente nominal do cabo

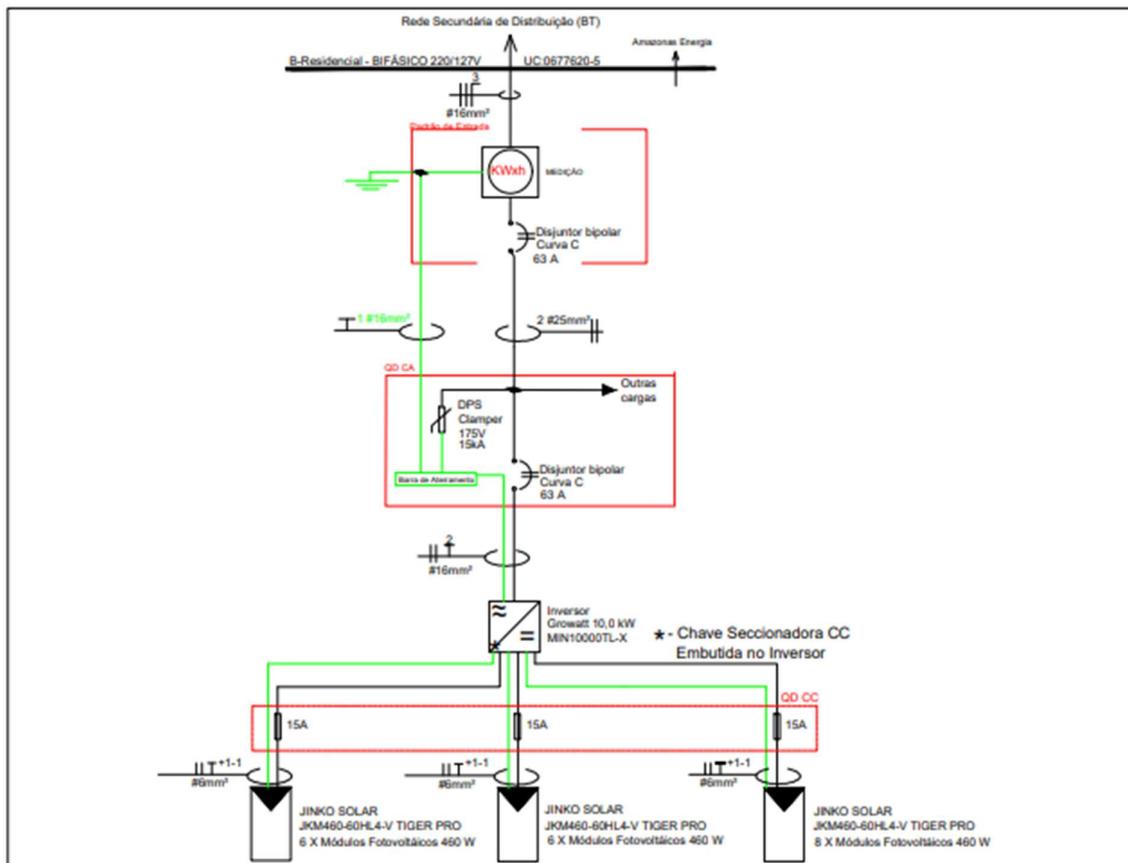
Tendo em vista a corrente de saída do inversor de 45.5 A, e utilizando um cabo flexível com seção de 16 mm² EPR 1kV de corrente nominal de 76 A, temos que:

$$45.5A < 63A < 76A$$

$$1.6 \cdot 63 \leq 1.45 \cdot 76 \rightarrow 100.8 A \leq 110.2 A$$

Portanto um disjuntor termomagnético de 63 A curva C na saída AC do inversor atende os critérios da NBR 5410 para seccionamento e proteção do sistema. Por fim, foi gerado o diagrama unifilar do gerador solar fotovoltaico (Figura 23), que ilustra de forma simplificada como funciona o sistema e como estão conectados cada componente.

Figura 23 – Diagrama unifilar do gerador solar fotovoltaico de 10 kW.



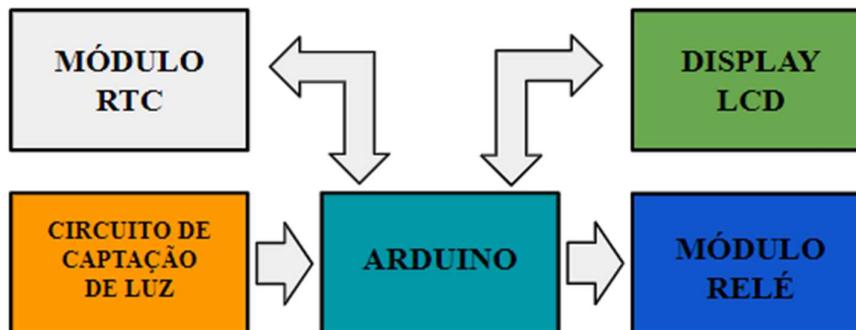
Fonte: Autoria Própria.

2.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE ILUMINAÇÃO

Tendo em vista que o estabelecimento onde foi instalado o gerador fotovoltaico é um comércio rural que necessitava de condições específicas de iluminação na área interna da granja para manutenção da produção de ovos, devido à sensibilidade do metabolismo dos animais à luz, foi proposto também a automatização da iluminação utilizada dentro do galinheiro. Este sistema deveria ser capaz de realizar o monitoramento e acionamento da iluminação local dentro do intervalo de 5 horas às 19 horas todos os dias, de tal forma que as luzes internas do galinheiro são acionadas quando o nível de luz natural do dia se torna insuficiente para a produção dos ovos, como ao amanhecer, entardecer, dias nublados ou chuvosos.

O projeto para automação da iluminação local teve 2 etapas, a primeira etapa sendo a montagem do hardware, e a segunda etapa de desenvolvimento do software embarcado no sistema. Para a etapa de montagem do circuito, foram considerados componentes eletrônicos, sistemas embarcados e módulos de acoplamento de fácil acesso e de baixo custo, para aumentar a viabilidade dessa aplicação em zonas rurais e/ou isoladas. O hardware montado segue o seguinte diagrama em blocos:

Figura 24 – Diagrama em blocos de montagem de Hardware Simplificado.



Fonte: Autorial Própria.

2.2.1 SUBSISTEMAS E MATERIAIS UTILIZADOS.

2.2.1.1 Módulo RTC

O Módulo RTC ou *Real Time Clock* é um módulo eletrônico de precisão que pode ser acoplado a sistemas embarcados, sua principal função é manter as informações de data e hora atualizadas para serem fornecidas quando o controlador do sistema embarcado requisitar estes dados por comunicação I2C.

Figura 25 – Módulo RTC.



Fonte: Autorial Própria.

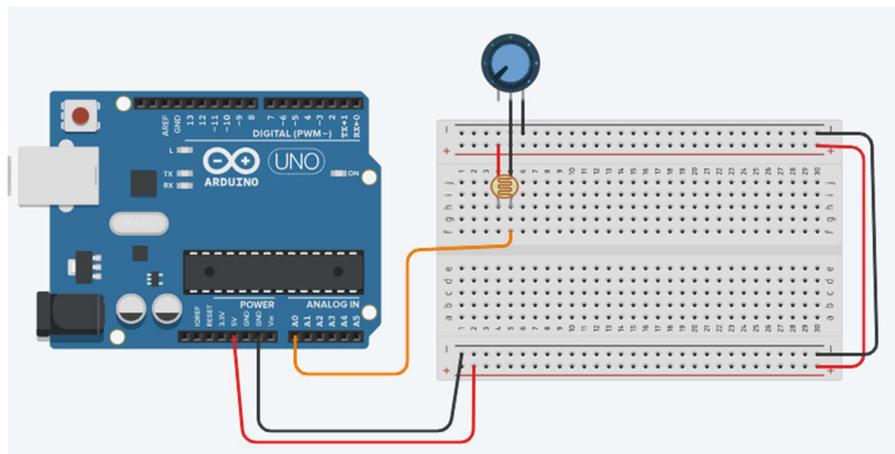
Este equipamento possui as seguintes características:

- Modelo: Módulo RTC DS 3231
- Tensão de operação: 3,3V - 5V;
- Compatibilidade: Arduino, Raspberry Pi, AVR, PIC, ARM, entre outros;
- Ajuste automático para meses com menos de 31 dias;
- Correções para ano bissexto;
- Compatibilidade com sensor de Temperatura;
- Calendário preciso até 2099;
- Corrente de consumo: inferior a 500uA;
- Comunicação: I2C - 5V - 400KHz;
- Memória EEPROM: AT24C32 - 32Kb;
- Bateria compatível: CR2032 (não incluída);
- Precisão: 2ppm;
- Formato: 12 AM/PM ou 24H;
- Dimensões: 38 x 23 x 11mm;
- Peso: 5g.

2.2.1.2 Circuito de Captação de luz

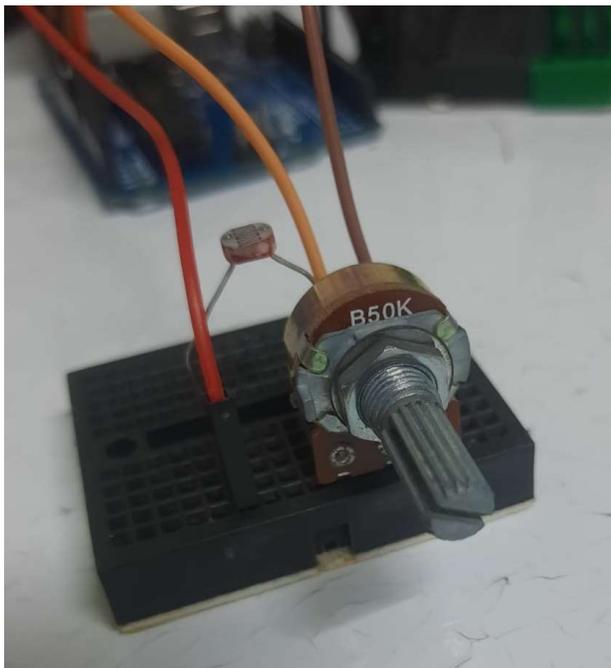
O Circuito de Captação de Luz é um divisor de tensão entre um LDR e um Potenciômetro de ajuste de 50 k Ω como mostra a Figura 26. Conforme a mudança do nível de luz incidente sobre o LDR sua resistência se altera, e esse sinal é enviado ao Arduino.

Figura 26 – Circuito de captação de luz.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 27 – Circuito de captação de luz.



Fonte: Autoria Própria.

2.2.1.3 Arduino Uno R3

O Arduino é um microcontrolador da marca Arduino modelo Uno R3 tem como função realizar o controle do sistema, realizando a interação dos dados de entrada com as informações de saída a partir da interação com os outros módulos e subsistemas presentes.

Figura 28 – Arduino Uno R3.



Fonte: Autoria Própria.

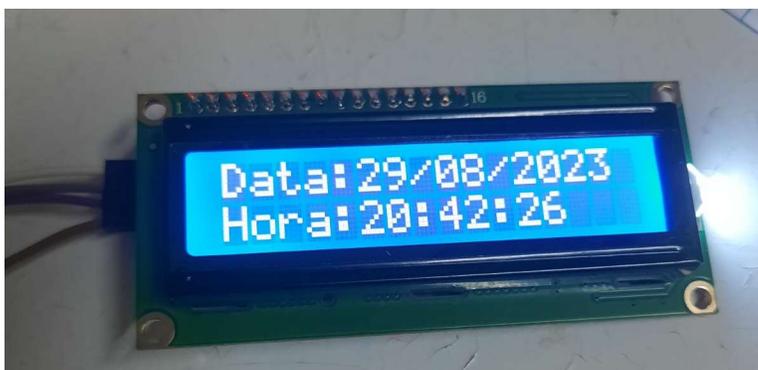
As características do Arduino Uno R3 são as seguintes:

- Microcontrolador: ATmega328Tensão de Operação: 5V
- Tensão de Entrada: 7-12V
- Portas Digitais: 14 (6 podem ser usadas como PWM)
- Portas Analógicas: 6 • Corrente Pinos I/O: 40mA
- Corrente Pinos 3,3V: 50mA
- Memória Flash: 32KB (0,5KB usado no bootloader)
- SRAM: 2KB
- EEPROM: 1KB
- Velocidade do Clock: 16MHz

2.2.1.4 Display LCD

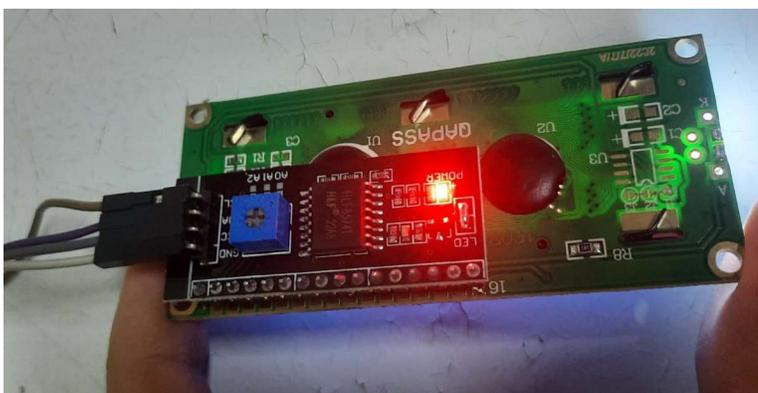
Foi utilizado um Display LCD de 16x2 pixels com módulo de comunicação serial I2C com objetivo de exibir em tela as informações de data, horário e nível de luminosidade instantâneo.

Figura 29 – Display LCD com Módulo de Comunicação I2C.



Fonte: Aatoria Própria.

Figura 30 – Display LCD com Módulo de Comunicação I2C.



Fonte: Aatoria Própria.

As características deste módulo são estas:

- Tensão de Operação: 5V
- Cor backlight: Azul
- Cor escrita: Branco
- Dimensão Total: 80mm X 36mm X 12mm
- Dimensão Área visível: 64.5mm X 14mm
- Dimensão Caracter: 3mm X 5.02mm
- Dimensão Ponto: 0.52mm X 0.54mm

2.2.1.5 Módulo Relé

Por fim o último subsistema presente é o módulo Relé, para este sistema foi utilizado um módulo Relé de 2 Canais modelo SRD-05VDC-SL-C. Este subsistema tem a função de realizar o chaveamento dos circuitos de iluminação presentes a partir do comando do Arduino baseado no nível de luminosidade do ambiente.

Figura 31 – Módulo Relé modelo SRD-05VDC-SL-C.

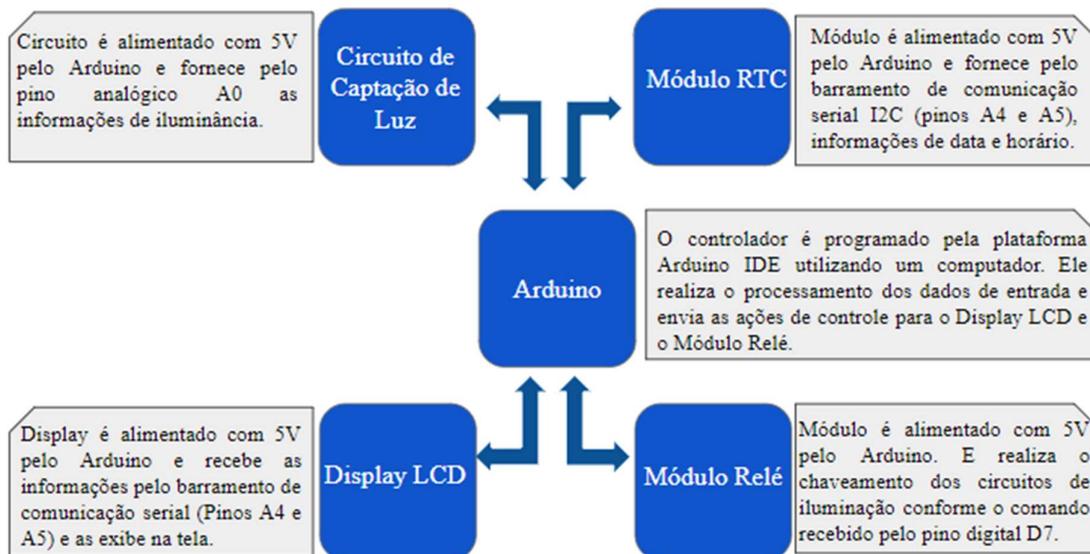


Fonte: Aatoria Própria.

2.2.2 IMPLEMENTAÇÃO

Com todos os equipamentos em mãos, foi iniciada a montagem do sistema de automação de iluminação conforme o fluxograma da Figura 32.

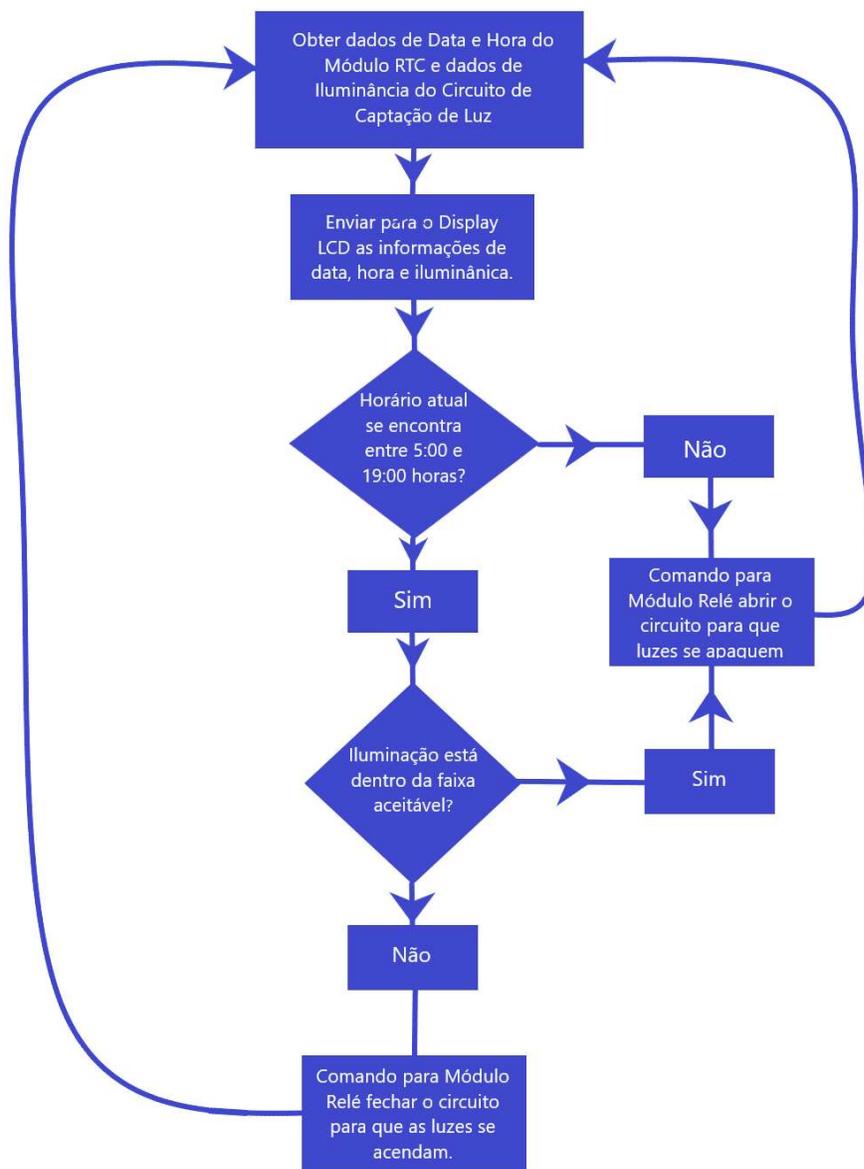
Figura 32 – Fluxograma de conexões e funcionamento do sistema.



Fonte: Aatoria Própria.

Com o sistema montado, foi feita a programação do Arduino, por meio da plataforma Arduino IDE utilizando um computador. O programa carregado no microcontrolador, registrado no Apêndice A deste documento, obedece a seguinte lógica de programação.

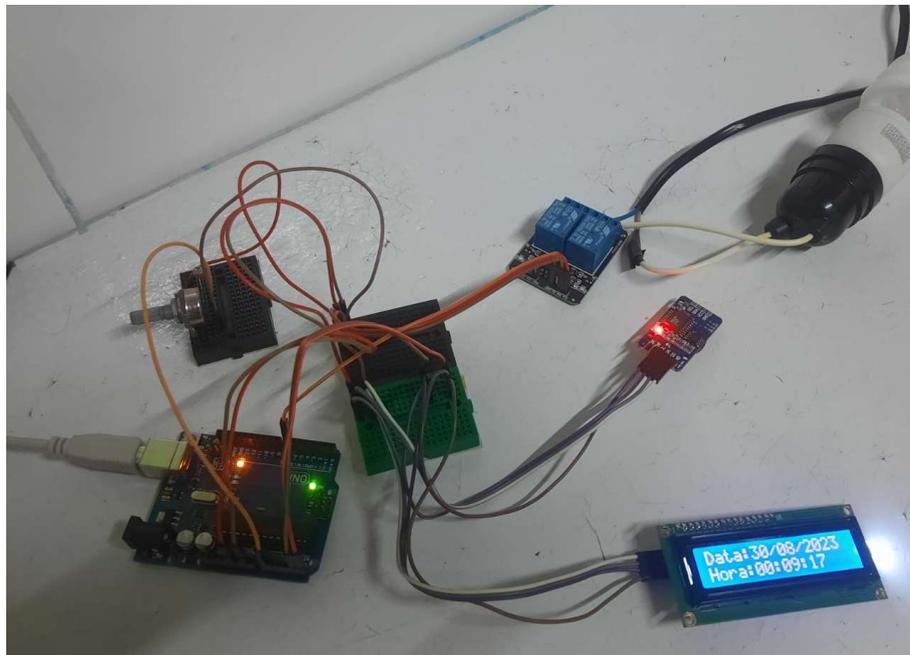
Figura 33 – Fluxograma de lógica de programação do sistema.



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 34 é ilustrado a composição física do sistema montado, com a placa do Arduino alimentada por um computador através de um cabo com lados USB A e USB B.

Figura 34 – Sistema Físico Implementado.



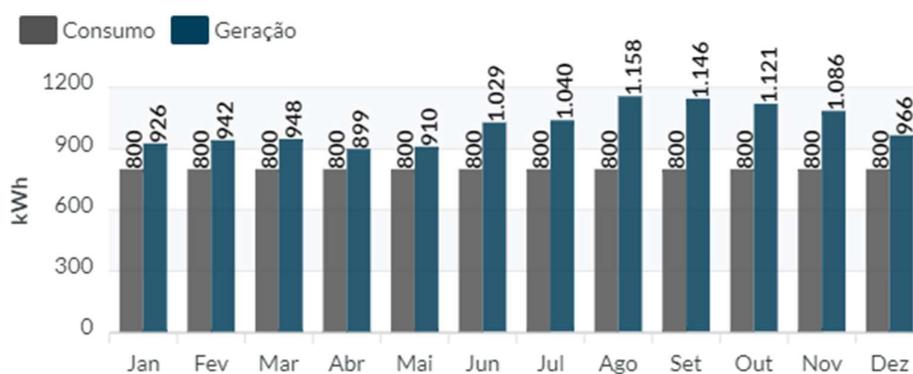
Fonte: Autoria Própria.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Produção do Sistema Solar Fotovoltaico.

Iniciando pelo sistema solar fotovoltaico, temos pelos dados calculados e simulados, considerando uma perda de 15% devido a períodos chuvosos e manutenções, o sistema produz em média 1014,20 kWh/mês, considerando uma tarifa de R\$0,84 o kWh/mês, o sistema gera em média uma economia de R\$ 10223,84 ao ano. Utilizando a plataforma Solarfy estabelecendo os dados dimensionados, pode-se plotar o gráfico de geração prevista pelo consumo médio da localidade.

Gráfico 02 – Gráfico de Geração Prevista x Consumo Médio.



Fonte: Solarfy (2023)

A partir do gráfico 2 é possível notar que nos meses de Dezembro a Maio a geração de energia elétrica é menor, se comparado aos meses de Junho a Novembro. Isso se dá devido a variações dos níveis de irradiação solar durante o ano, assim as estações chuvosas presentes na região.

3.2 Custo de Investimento

A tabela a seguir apresenta um orçamento do investimento necessário para a implementação dos sistemas descritos e simulados neste trabalho.

Tabela 04 – Orçamento para definir custo de investimento.

| Descrição | Valor Unitário | UND | Quantidade | Subtotal |
|---|----------------|-----|------------|----------------------|
| Material Referente ao Sistema Solar Fotovoltaico | | | | |
| Kit Gerador Fotovoltaico | R\$ 18.019,00 | UND | 1 | R\$ 18.019,00 |
| Inversor | - | UND | 1 | - |
| Painel Solar Fotovoltaico 460 Wp | - | UND | 20 | - |
| Conectores MC4 Staubli | - | UND | 4 | - |
| Cabo Solar Fotovoltaico Preto | - | m | 100 | - |
| Cabo Solar Fotovoltaico Vermelho | - | m | 100 | - |
| Material Referente ao Sistema de Automação de Iluminação | | | | |
| Arduino UNO R3 | R\$ 92,00 | UND | 1 | R\$ 92,00 |
| Módulo RTC | R\$ 37,50 | UND | 1 | R\$ 37,50 |
| Módulo Relé 2 Canais | R\$ 20,00 | UND | 1 | R\$ 20,00 |
| Display LCD com Comunicação I2C | R\$ 34,50 | UND | 1 | R\$ 34,50 |
| Potenciômetro | R\$ 3,50 | UND | 1 | R\$ 3,50 |
| LDR | R\$ 1,20 | UND | 1 | R\$ 1,20 |
| Cabos Jumpers | R\$ 0,70 | UND | 10 | R\$ 7,00 |
| Serviço de Instalação | | | | |
| Projeto e Instalação dos Sistemas | R\$ 1,00 | Wp | 9200 | R\$ 9.200,00 |
| Material de AC | 10,00 | % | 1 | R\$ 1.901,90 |
| Total | | | | R\$ 29.316,60 |

Fonte: Autoria Própria.

3.3 Análise de Investimento

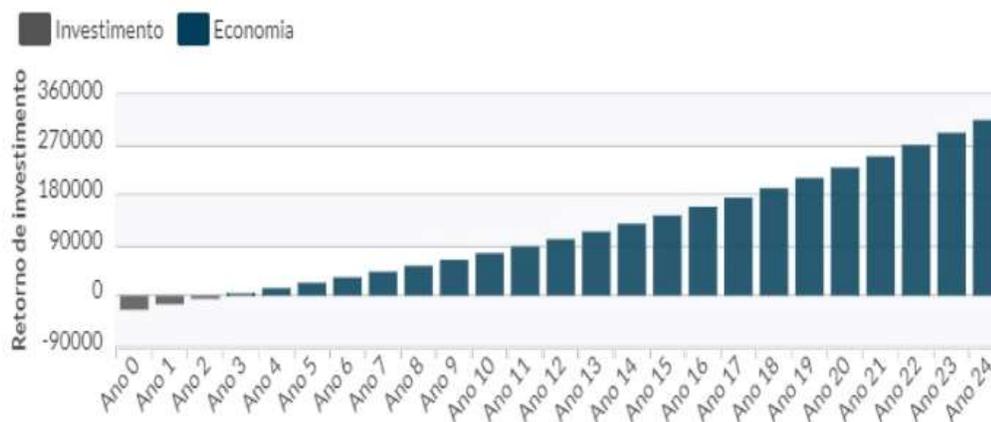
Para analisar a viabilidade econômica deste investimento foram utilizados 3 indicadores econômicos: Payback, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno). Considerando a taxa de inflação em 25 anos como 5,79%, o cálculo do Payback baseado na produção da geração fotovoltaica foi feito utilizando a ferramenta Solarfy, o valor encontrado foi de 3 anos.

Figura 34 – Fluxo de caixa em 25 anos.

| Anos | Valor | Geração | Economia anual |
|------|----------------|---------------|----------------|
| 1 | -R\$ 25.275,18 | 5.063,80 kWh | R\$ 4.041,42 |
| 2 | -R\$ 15.534,34 | 12.080,91 kWh | R\$ 9.740,84 |
| 3 | -R\$ 5.795,83 | 11.979,96 kWh | R\$ 9.738,51 |
| 4 | R\$ 3.914,57 | 11.879,61 kWh | R\$ 9.710,40 |
| 5 | R\$ 13.570,82 | 11.780,22 kWh | R\$ 9.656,25 |
| 6 | R\$ 23.146,26 | 11.681,64 kWh | R\$ 9.575,44 |
| 7 | R\$ 32.802,51 | 11.583,78 kWh | R\$ 9.656,25 |
| 8 | R\$ 42.931,69 | 11.486,94 kWh | R\$ 10.129,18 |
| 9 | R\$ 53.558,05 | 11.390,67 kWh | R\$ 10.626,36 |
| 10 | R\$ 64.705,56 | 11.295,48 kWh | R\$ 11.147,51 |
| 15 | R\$ 129.201,77 | 10.830,78 kWh | R\$ 14.163,41 |
| 20 | R\$ 211.144,13 | 10.385,16 kWh | R\$ 17.994,37 |
| 25 | R\$ 315.251,59 | 9.957,96 kWh | R\$ 22.861,48 |

Fonte: Autoria Própria.

Figura 35 – Payback em 25 anos.



Fonte: Autoria Própria.

Para o cálculo do VPL, tem-se que definir o valor de TMA (Taxa Mínima de Atratividade), como padrão será definida em 9% para que ela seja no mínimo maior que a taxa de inflação atual. Então munido da TMA, do fluxo de caixa e do valor de investimento inicial é possível calcular o VPL (valor presente líquido) do projeto fazendo a subtração entre o somatório do fluxo de caixa acumulado e o valor do investimento inicial:

$$V_{PL} = \sum_{j=1}^{25} \frac{Fct}{(1+i)^t} - Investimento Inicial \quad [1]$$

VLP = Valor presente líquido (R\$);

Fct = Fluxo de caixa no período de 25 anos (R\$);

t = 25 anos (Anos);

i = Taxa mínima de atratividade em 9% (TMA) (%);

n = período de tempo – 25 (Anos).

Utilizando a função VPL do Excel, o VPL calculado foi de R\$ 2.208,56, portanto este investimento retorna o valor investido somado a um valor maior que a taxa mínima esperada. Por fim, calculou-se a TIR (Taxa Interna de Retorno). O TIR representa o valor de desconto no seu fluxo de caixa que faz com que seu VPL (Valor presente líquido) seja igual a zero. Dessa forma, o mesmo pode ser calculado com a mesma fórmula utilizada para o cálculo do VPL, somente fazendo $VPL = 0$ e isolando o que seria o TMA.

$$V_{PL} = 0 = \sum_{j=1}^{25} \frac{Fct}{(1+TIR)^t} - Investimento Inicial \quad [2]$$

Utilizando a função VPL do Excel, foi calculada uma taxa TIR de 9,6% isto indica que o projeto é atrativo por retornar o capital investido além de outro valor adicional.

CONCLUSÃO

O projeto e implementação do sistema solar fotovoltaico e do sistema de automação de iluminação se mostraram viáveis. Com um índice de payback de 3 anos que é aceitável se comparado a durabilidade dos equipamentos utilizados e da durabilidade dos painéis fotovoltaicos. Outros fatores importantes são: o VPL, que se apresentou significativamente maior que zero, ou seja, é mais uma segurança de retorno positivo no futuro e a taxa interna de retorno de 9.6%, ou seja, é maior do que a taxa mínima de atratividade, o que demonstra a viabilidade da instalação.

É importante ressaltar a relevância de levar desenvolvimento tecnológico para os interiores do Amazonas, bem como estudos para aplicação de conceitos da engenharia e eficiência energética em zonas rurais do país, a fim de incentivar o crescimento de agronegócios na região, controle da energia elétrica e uso de energias renováveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PARIDA, Bhubaneswari; INIYAN, S.; GOIC, Ranko. **A review of solar photovoltaic technologies**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 3, p. 1625–1636, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110004016>>. Acesso em: 31 mar. 2023.

Governo do Estado do Amazonas, **Amazonas em Mapas**, 2º Edição – 2018. Secretaria de Estado de Planejamento, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação – SEPLANCTI. Disponível em: <[https://www.sedecti.am.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/2a Amazonas em Mapas 2016 em novembro de 2018.pdf](https://www.sedecti.am.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/2a_Amazonas_em_Mapas_2016_em_novembro_de_2018.pdf)>

TANENBAUM, Andrew S. e AUSTIN, Todd. **Organização Estruturada de computadores**. 6 . ed. tradução Daniel Vieira; revisão técnica Wagner Luiz Zucchi. -- São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2013.

ROBOCORE. **Arduino UNO R3 – Made in Italy**. [s.l]: Robocore, 2023. Disponível em: <<https://www.robocore.net/placa-arduino/arduino-uno-r3>>

ROBOCORE. **Módulo I2C - Primeiros Passos**. [s.l]: Robocore, 2023. Disponível em: <https://www.robocore.net/tutoriais/primeiros-passos-com-modulo-i2c>

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. **O que é Geração Distribuída**. [s.l.]: Inee, 2020. Disponível em: http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp

PORTAL SOLAR. **O que é geração distribuída de energia elétrica?** [s.l]: Portal Solar, 2021. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida-de-energia-eletrica/> >. Acesso em: 16 mar. 2023.

ENEL. **Energia Verde o presente e o futuro da eletricidade**. [s1]: Enel Green Power. Disponível em: <https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/energias-renoveveis>

LOEBLEIN, Lucinéia Carla et al. **Comparação da Eficiência de Placas Solares Térmicas em Diferentes Modos de Operação**; In: XIII SEPROSUL – Semana de laIngeniería de ProducciónSudamericana, 13, 2013. Gramado, RS: 2013, p.9

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. **Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão**. REV. VIRTUAL QUIM.,v. 7, n. 1, p. 126 – 143, 2015.

SOUZA, Adilson Pacheco et al. **Estimates of solar radiation components on a tilted surface based on global horizontal radiation**. Campina Grande, PA, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262671726_Estimates_of_solar_radiation_components_on_a_tilted_surface_based_on_global_horizontal_radiation>. Acesso em: 17 mar. 2023.

SOL CENTRAL. **Produtos**. [s.l.]: Sol Central, 2015. Disponível em: <<http://www.solcentral.com.br/produtos/>>. Acesso em: 17 mar. 2023.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. **Energia Solar Princípios e Aplicações**. [s.l.]: Cresesb, 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>.

- INTELBRAS. **Módulo Fotovoltaico EMS 330P | Intelbras**. [s.l.]: Intelbras, 2018. Disponível em: <<https://www.intelbras.com/pt-br/modulo-fotovoltaico-ems-330p-ems-330-p>>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- RÜTHER, RICARDO. **EDIFÍCIOS SOLARES FOTOVOLTAICOS**. FLORIANÓPOLIS: LABSOLAR, 2004.
- COOPE SOLAR. **Instalação e diferença de ambos os sistemas**. [s.l.]: Coope Solar, 2017. Disponível em: <<https://coopesolar.wordpress.com/on-grid/>>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- NT ENERGY SOLUTIONS. **On-Grid and Off-Grid system**. [s.l.]: NT Energy Solutions, 2020. Disponível em: <<http://www.nt-energysolutions.com/en/Article/Detail/101927>>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- ALIEXPRESS. **Painel solar regulador de carga, controlador de carga de painel solar 40a/60a/100a mppt12v/24v, rastreamento de foco automático**. [s.l.]: Aliexpress, 2023. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/4000038390949.html>>
- ELYSIA. **Entenda tudo sobre as características do inversor solar grid-tie**. [s.l.]: Elysia, 2017. Disponível em: <<https://elysia.com.br/inversor-solar-grid-tie/>>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- PINHO, João; GALDINO, Marco. **MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2014.
- NEWMAX. **O que é uma bateria e para que ela serve?**. [s.l.]: Newmax 2019. Disponível em: <<https://newmax.com.br/o-que-e-uma-bateria-e-para-que-ela-serve/>> Acesso em: 17 mar. 2023.
- NEWMAX. **FNC12V-C Baterias Estacionárias**. [s.l.]: Newmax 2019. Disponível em: <<https://newmax.com.br/produtos/fnc12v-c-baterias-estacionarias-12v/>> Acesso em: 17 mar. 2023.
- ENERGÊS. **Do início ao fim sistema solar fotovoltaico off-grid**. [s.l.]:Energês 2020. Disponível em: <<https://energes.com.br/do-inicio-ao-fim-sistema-solar-fotovoltaico-off-grid/>> Acesso em: 18 ago 2023.
- Manual da Eletrônica. **LDR – O que é e como funciona?**. [s.l.]:Manual da Eletrônica 2023. Disponível em: <<https://www.manualdaeletronica.com.br/ldr-o-que-e-como-funciona/>> Acesso em: 20 ago 2023.
- HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia econômica e análise de custos**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1989.
- BORDEAUX-REGO, Ricardo et al. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.
- BROM, L.G.; BALIAN, J.E.A. **Análise de investimentos e capital de giro**. São Paulo: Saraiva, 2007.

CAMARGO, Renata. **Veja como o Valor Presente Líquido (VPL) ajuda na análise de viabilidade de um investimento.** [S. 1.], 29 jan. 2017. Disponível em:<<https://www.treasy.com.br/blog/valor-presente-liquido-vpl/>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

REIS, Tiago. **Payback: entenda como calcular o prazo de retorno de um investimento.** [S. 1.], 25 jul. 2019. Disponível em:<<https://www.sunoresearch.com.br/artigos/payback/>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

PhB Solar. **Módulo Jinko Solar JKM460M** [s.1]:PhB Solar 2023. Disponível em:<<https://www.energiasolarphb.com.br/produto/modulo-jinko-solar-jkm460m-60hl4-v/>> Acesso em: 20 ago 2023.

AMAZONAS ENERGIA. Norma Técnica para Conexão de acessantes à Rede de Distribuição – Microgeradores da Amazonas Energia S.A. Julho de 2022. Disponível em:<<https://website.amazonasenergia.com/informacoes/normas-tecnicas/>>. Acesso em: 28 Ago de 2023.

APENDICE A

Script utilizado no Arduino para controle do sistema de de automação de iluminação:

```
//Sketch by Thiago Alves

#include <Wire.h>

#include "RTCLib.h"

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

RTC_DS3231 rtc;

char dia_da_semana[7][12] = { "Domingo", "Segunda", "Terça", "Quarta", "Quinta",
"Sexta", "Sábado" };

int mluz = 0;

int horas = 0;

void setup() {

  rtc.begin();

  lcd.begin();

  lcd.clear();

  lcd.backlight();

  lcd.setCursor(0, 0);

  lcd.print("Ola, bem vindo!");

  lcd.setCursor(0, 1);

  lcd.print("Monitorando...");

  delay(5000);

  lcd.clear();

  //Ajustar Horário Automático:

  //rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
```

```
//Ajustar Horário Manualmente:

//Ordem(Ano, mês, dia, hora, minuto, segundo)

//rtc.adjust(DateTime(2023, 8, 16, 14, 23, 00));

pinMode(7,OUTPUT);
pinMode(A0, INPUT);
}

void loop() {

// Tratamento de dados de data, hora e iluminação para LCD:

DateTime now = rtc.now();

mluz = analogRead(A0);

lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Data:");

if (now.day() < 10){

    lcd.print("0");

    lcd.print(now.day(), DEC);

}

else {

    lcd.print(now.day(), DEC);

}

lcd.print("/");

if (now.month() < 10){

    lcd.print("0");

    lcd.print(now.month(), DEC);

}

}
```

```
else {
    lcd.print(now.month(), DEC);
}
lcd.print("/");
lcd.print(now.year(), DEC);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Hora:");

if (now.hour() < 10){
    lcd.print("0");
    lcd.print(now.hour(), DEC);
}
else {
    lcd.print(now.hour(), DEC);
}
lcd.print(":");
if (now.minute() < 10){
    lcd.print("0");
    lcd.print(now.minute(), DEC);
}
else {
    lcd.print(now.minute(), DEC);
}
lcd.print(":");
if (now.second() < 10){
    lcd.print("0");
```

```
    lcd.print(now.second(), DEC);
}
else {
    lcd.print(now.second(), DEC);
}
delay(5000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Luminosidade:");
lcd.setCursor(3, 1);
lcd.print(mluz);
lcd.print(" lm");
delay(5000);

//Tratamento de dados de Leitura de Luz e chaveamento
horas = now.hour();
if ((horas >= 5) && (horas <= 19)){
    mluz = analogRead(A0);
    if (mluz < 450) {
        digitalWrite(7,LOW);
        delay(10);
    }
    else {
        digitalWrite(7,HIGH);
        delay(500);
    }
}
```

```
else{  
  digitalWrite(7,HIGH);  
  delay(10);  
}  
}
```