UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE TECNOLOGIA

SERGIO LUCIANO DE OLIVEIRA SOARES

AUTOMAÇÃO DOMÓTICA: Monitoramento da geração de energia solar, utilizando a tecnologia da Internet das Coisas (IoT).

LIMEIRA/SP

2023

SERGIO LUCIANO DE OLIVEIRA SOARES

AUTOMAÇÃO DOMÓTICA: Monitoramento da geração de energia solar, utilizando a tecnologia da Internet das Coisas (IoT).

Dissertação/Tese apresentada à Faculdade da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Tecnologia, na Àrea de Sistemas de Informação e Comunicação.

Orientador: Profa. Dra. Ieda Geriberto Hidalgo
Coorientador: Profa. Dra. Marli de Freitas Gomes Hernandez

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO
SERGIO LUCIANO DE OLIVEIRA SOARES E ORIENTADA PELA
PROF(A). DR(A). IEDA GERIBERTO HIDALGO

LIMEIRA/SP

2023

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
Felipe de Souza Bueno - CRB 8/8577

So11a

Soares, Sergio Luciano de Oliveira, 1975-
Automação domótica : monitoramento da energia solar, utilizando a tecnologia da Internet das Coisas (IoT) / Sergio Luciano de Oliveira Soares. – Limeira, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: Ieda Geriberto Hidalgo.
Coorientador: Marli de Freitas Gomes Hernandez.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Internet das coisas. 2. Efeito fotovoltaico. 3. Energia Solar. 4. Água. I. Hidalgo, Ieda Geriberto, 1976-. II. Hernandez, Marli de Freitas Gomes, 1959-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. IV. Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: Home automation : solar energy monitoring, using Internet of Things (IoT) technology
Palavras-chave em inglês:
Internet of things
Photovoltaic effect
Solar energy
Water
Área de concentração: Sistemas de Informação e Comunicação
Titulação: Mestre em Tecnologia
Banca examinadora:
Ieda Geriberto Hidalgo [Orientador]
Edson Luiz Ursini
Marco Valério de Albuquerque Vinagre
Data de defesa: 06-11-2023
Programa de Pós-Graduação: Tecnologia

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)
- ORCID do autor: https://orcid.org/0009-0002-8253-6580
- Currículo Lattes do autor: https://lattes.cnpq.br/0491599598074770

FOLHA DE APROVAÇÃO

Abaixo se apresentam os membros da comissão julgadora da sessão pública de defesa de dissertação para o Título de AUTOMAÇÃO DOMÓTICA: Monitoramento da geração de energia solar, utilizando a tecnologia da Internet das Coisas (IoT) em Tecnologia na área de concentração de Sistemas de Informação e Comunicação, a que submeteu a (o) aluna (o) Sergio Luciano de Oliveira Soares, em 06 de Novembro de 2023 na Faculdade de Tecnologia- FT/ UNICAMP, em Limeira/SP.

Prof. (a). Dr (a) Ieda Geriberto Hidalgo

Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Edson Luiz Ursini

FT Faculdade de Tecnologia Unicamp Limeira

Prof. Dr. Marco Valério de Albuquerque Vinagre
Universidade da Amazônia - UNAMA

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria de Pós-graduação da FT.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, agradeço a minha família tão especial, composta por minha esposa Viviane e meus filhos Bruno e João Soares. Gostaria também de mencionar que este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço imensamente a professora Dra. Marli Hernandez pela orientação e a professora Dra. Ieda Hidalgo por viabilizar a defesa.

Queria agradecer a Joelma Battistella, Roseli Giusti Arsego, Emir Afonso Arsego, Daniel Silva do Nascimento e Dr. Gerson Pastre Oliveira pelo apoio constante e valiosas contribuições que fizeram para este projeto.

Também estendo meus agradecimentos a Me. Marcos Paulo Ferreira Rebello, Me. Peter Jandl Junior, Me. Nathan Cirillo e Silva, Esp. Renata Caceres, Esp. Romildo Godoy e Me. Gilberto De Oliveira por compartilhar seu conhecimento e experiência, fornecendo insights preciosos que enriqueceram nosso trabalho.

Dr. Irapuan Glória Júnior, pela sua orientação e sabedoria compartilhada ao longo dos anos. Sua dedicação à pesquisa e seu constante incentivo foram fundamentais para o meu crescimento e desenvolvimento como estudante.

Dr. Francisco Carlos do Nascimento, obrigado por compartilhar seu conhecimento e experiência. Sua liderança e apoio incondicional foram essenciais para que eu alcançasse meus objetivos.

Drª. Ana Beatriz Carollo Rocha Lima, sou grato por suas valiosas contribuições e orientação durante minha pesquisa. Sua paciência e dedicação foram fundamentais para o sucesso do meu trabalho.

Me. Eder Carlos Fernandes minha eterna gratidão.

Zildomar Guareze, Noemi Battistella e Ana Lucena Battistella, agradeço do fundo do meu coração por todo o suporte e encorajamento que vocês me deram ao longo dessa jornada. Sem o amor e apoio de vocês, não teria sido possível seguir esse caminho.

Dr. Marco Valério de Albuquerque Vinagre, minha gratidão.

Dr. Edson Ursini, agradeço imensamente por sua disposição em compartilhar seu conhecimento e experiência. Seu apoio e orientação foram cruciais para o meu crescimento profissional.

Agradeço a todos pela dedicação, empenho e comprometimento demonstrados ao longo deste trabalho. Sem o suporte e colaboração de cada um de vocês, seria impossível alcançar os resultados obtidos.

Muito obrigado!

RESUMO

A energia solar é aplicada em diversas áreas, desde o aquecimento de água e ar até o cozimento de alimentos, a purificação da água e a geração de eletricidade. Assim, a presente pesquisa propõe um projeto de fogão a lenha voltado para o aquecimentoda piscina de uma residência. Tanto a bomba dessa piscina quanto a própria residência serão alimentadas por energia solar, proporcionando uma solução energética sustentável. Este estudo busca analisar a implementação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), buscando otimizar a gestão do consumo de energia por meio da integração da Internet das Coisas (IoT). A investigação abrange o uso do fogão a lenha em ambientes domésticos, comparando seus benefícios e desvantagens com outros tipos, como os movidos a gás. Vale ressaltar que, dependendo das características e configurações da casa, esse fogão pode contribuir para a redução dos custos de vida e a diminuição do consumo de energia elétrica, especialmente quando integrado a um sistema de aquecimento solar. No entanto, é importante considerar os riscos associados à exposição prolongada ao ambiente do fogão, bem como os desafios em aumentar sua eficiência e minimizar seu impacto ambiental. O objetivo desta dissertação é apresentar o dimensionamento de um SFCR aplicado a uma residência. Esse sistema solar alimentará tanto o motor da piscina quanto a residência em si. Além disso, o projeto incluirá um sistema de aquecimento de água, utilizando um aquecedor a lenha e serpentina, visando aprimorar a eficiência energética e controlar as emissões de gases. O inversor escolhido, o modelo SF5000TL da marca Grid-Tie, foi selecionado pelas suas características de desempenho e eficiência, alinhadas às necessidades do sistema de energia solar em questão. A capacidade de fornecer energia para o motor da piscina será garantida com a instalação de duas placas solares. Na elaboração do projeto do fogão a lenha com sistema de aquecimento, conclui-se que elementos como proporção dimensional, inserção do combustível e altura adequada da chaminé são importantes para garantir uma queima intensa. Além disso, o isolamento térmico na área de combustão eleva a eficiência da queima, maximizando o aproveitamento do calor gerado. Essa abordagem posiciona o fogão a lenha como uma opção mais sustentável e amigável ao meio ambiente.

Palavras-chave: Dimensionamento fotovoltaico. Energia Solar. Sistema de aquecimento de água.

ABSTRACT

Solar energy is applied in various areas, ranging from water and air heating to cooking, water purification, and electricity generation. Thus, this research proposes a wood stove project aimed at heating a residence's swimming pool. Both the pool pump and the residence itself will be powered by solar energy, providing a sustainable energy solution. This study seeks to analyze the implementation of a Grid-Tied Photovoltaic System (GTPS), aiming to optimize energy consumption management through the integration of the Internet of Things (IoT). The investigation encompasses the use of the wood stove in domestic environments, comparing its benefits and drawbacks with other types, such as gas-powered ones. It is worth noting that, depending on the characteristics and configurations of the house, this stove can contribute to reducing living costs and decreasing electricity consumption, especially when integrated with a solar heating system. However, it is important to consider the risks associated with prolonged exposure to the stove's environment, as well as the challenges in increasing its efficiency and minimizing its environmental impact. The goal of this dissertation is to present the sizing of a GTPS applied to a residence. This solar system will power both the pool pump and the residence itself. Additionally, the project will include a water heating system using a wood stove and coil, aiming to improve energy efficiency and control gas emissions. The chosen inverter, the SF5000TL model from the Grid-Tie brand, was selected for its performance and efficiency characteristics aligned with the needs of the solar energy system in question. The ability to supply energy to the pool pump will be ensured by the installation of two solar panels. In the design of the wood stove with a heating system, it is concluded that elements such as dimensional proportion, fuel insertion, and proper chimney height are important to ensure intense combustion. Furthermore, thermal insulation in the combustion area enhances burning efficiency, maximizing the utilization of generated heat. This approach positions the wood stove as a more sustainable and environmentally friendly option.

Keywords: Photovoltaic sizing. Solar Energy. Water heating system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Custo dos módulos solares entre 2010 e 2017.....15
Figura 2 - Conversão de vários tipos de energia em elétrica.....24
Figura 3 - Disposição dos elementos de uma célula fotovoltaica.....25
Figura 4 – Ilustração do que ocorre internamente em uma célula fotovoltaica.....25
Figura 5 - Efeito causado pela irradiância em um painel fotovoltaico.....27
Figura 6 - Efeito causado pela temperatura em um painel fotovoltaico.....28
Figura 7 - Disposição dos componentes básicos de um módulo fotovoltaico 29
Figura 8 - Microcontrolador chip (esquerda). Microcontrolador Intel 8051 (Direita). 30
Figura 9 - Arquitetura de Von Neuman.....32
Figura 10 - Arquitetura de Harvard 33
Figura 11 - Inversores Off Grid 34
Figura 12 - Inversores Grid Tie ou On Grid.....34
Figura 13 – Exemplo de conexão entre o dispositivo e a rede IP 40
Figura 14 - Irradiação solar média.....46
Figura 15 - Sistema de aquecimento 52
Figura 16 - Simulação da potência necessária e da perda anual ao passar dos 25 anos, utilizando 9 módulos 56
Figura 17 - Simulação da potência necessária e da perda anual ao passar dos 25 anos, utilizando 10 módulos 57
Figura 18 - Inversor Solar Grid-Tie B&B Moso SF5000TL.....63
Figura 19 - Maquete da residência 68
Figura 20 - Fogão a lenha 70
Figura 21 - Fogão com a grelha.....71
Figura 22- Final - Fogão a lenha.....72
Figura 23- Fluxograma do sistema de monitoramento.....74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de eficiência de materiais que compõem as células fotovoltaicas 26
Tabela 2 - Irradiação solar média 47
Tabela 3 - Consumo energético dos últimos 6 meses da residência em estudo 53
Tabela 4 - Quadro de referência dos painéis 54
Tabela 5 - Dados técnicos do módulo fotovoltaico 54
Tabela 6 - Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos 58
Tabela 7 - Dimensionamento do inversor 62
Tabela 8 - Média dos custos para a execução do projeto 64
Tabela 9 - Média de valor para a execução do projeto 64
Tabela 10 - Requisitos 69

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CIGS	Cobre Índio Gálio Selênio
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
FV	Fotovoltaico
IoT	Internet das Coisas
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MW	Megawatt
PCB	Printed Circuit Board
RSSF	Rede De Sensores Sem Fio
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados a rede

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 PROBLEMÁTICA 16
1.2 HIPÓTESES 18
1.3 JUSTIFICATIVA 18
1.4 OBJETIVOS 19
1.4.1 Objetivo Geral *19*
1.4.2 Objetivos Específicos *19*
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 21
2.1 REDE DE SENSORES SEM FIO 21
2.2 PANORAMA ENERGÉTICO 23
2.3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS 24
2.4 MICROCONTROLADORES 29
2.4.1 Arquitetura de Von Neuman e Harvard *31*
2.5 INVERSORES 33
2.6 RESOLUÇÕES NORMATIVAS DA ANEEL – NORMAS PARA ENERGIA SOLAR 35
2.7 INTERNET DAS COISAS 36
2.8 COMPUTAÇÃO EM NUVEM 38
2.8.1 Conexão em Nuvem *40*
2.9 QUEIMA DE LENHA E CARVÃO EM AMBIENTES FECHADOS 41
2.9.1 Benefícios do Fogão a Lenha *43*
2.10 DOMÓTICA 43
3 MÉTODO DE PESQUISA 43
3.1 SISTEMA PROPOSTO 45
3.2 PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE 45
3.2.1 Cálculo da Irradiação Solar *46*
3.2.2 Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos *48*
3.2.3 Dimensionamento do Inversor *49*
3.2.4 Rendimento Energético *50*
3.2.5 Payback *51*
3.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO A LENHA PARA PISCINA 51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 53
4.1 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIAL 53

SUMÁRIO

4.2 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA O MOTOR DA PISCINA.....59
4.3 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR ADEQUADO PARA O SISTEMA SOLAR 60
4.4 ESTIMATIVA DE CUSTO.....63
4.5 INVESTIMENTO TOTAL DO SISTEMA SOLAR.....64
4.6 DIMENSIONAMENTO DO FOGÃO PARA AQUECIMENTO DA PISCINA 65
4.6.1 Quantidade Necessária de Calor 66
4.6.2 Vazão.....67
4.6.3 Projeto do Forno 67
4.7 SISTEMA DE MONITORAMENTO 73
5 CONCLUSÃO 76
6 ESTUDOS FUTUROS 77
REFERÊNCIAS.....79
APÊNDICE 1 – DESENHO TÉCNICO: VISÃO SUPERIOR.....83
APÊNDICE 2 – DESENHO TÉCNICO : VISÃO LATERAL.....84

1 INTRODUÇÃO

Conforme destaca Zago (2018), em face do crescente aquecimento global, torna-se cada vez mais importante a utilização de fontes renováveis e limpas de energia. De acordo com o autor, no ano de 2015, cerca de 85% da energia consumida mundialmente teve origem no petróleo, no carvão mineral, no gás natural e na energia nuclear, o que resultou na emissão de aproximadamente 32.294 Mt. de CO_2 na atmosfera.

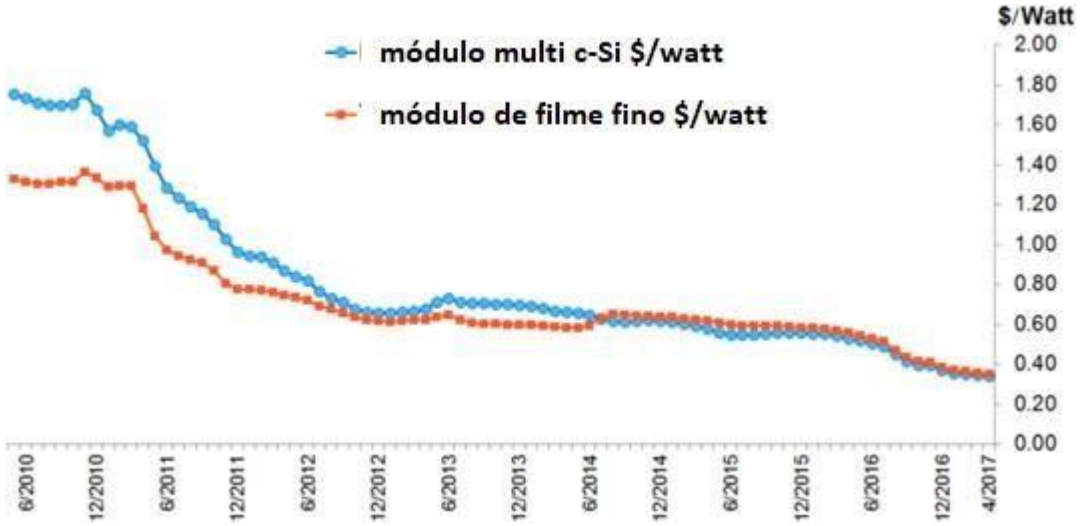
Diversos países estão investindo nas tecnologias da energia solar, pode-se citar como exemplo, a Alemanha, que possui uma capacidade instalada de 39700 MW, praticamente a mesma quantidade que o Brasil. A China, Japão e Estados Unidos têm capacidade instalada de 15150 MW, 11000 MW, 7300 MW, respectivamente (ZAGO, 2018).

O Brasil é reconhecido mundialmente como líder em fontes de energia renovável, como energia hidrelétrica e energia fotovoltaica. No entanto, é necessário continuarmos aprimorando as energias renováveis não convencionais, como estabelecer regulamentações adequadas no quadro legal, elaborar um planejamento energético de longo prazo considerando as questões climáticas e econômicas, e atualizar as instituições que apoiam esse tipo de energia, incluindo as agências energéticas especializadas (BONDARIK; PILATTI; HORST, 2018).

De acordo com o Governo do Brasil (2021), aproximadamente 40% da energia elétrica produzida no país vem de fontes renováveis. Embora a maioria seja proveniente de usinas hidrelétricas, observa-se um crescimento constante da energia eólica e solar. Atualmente, a energia eólica representa cerca de 10,9% da matriz elétrica brasileira, e espera-se um aumento de 2,7% até 2025. Já a energia solar gerada por grandes usinas teve um crescimento de 200% nos últimos três anos, chegando a representar 2% da matriz elétrica brasileira em 2020 (GOV, 2021).

Um fato positivo, é que os custos dos módulos solares caíram, significativamente, nos últimos anos, aproximadamente, 40%, entre 2015 e 2017. Essas informações estão compiladas no gráfico da Figura 1.

Figura 1 - Custo dos módulos solares entre 2010 e 2017.



Fonte: Adaptado de Zago (2018).

Conforme Figura 1, o módulo multi c-Si $/watt é uma medida que indica o custo de um módulo fotovoltaico feito de silício cristalino (c-Si) multicristalino por watt de potência. O módulo fotovoltaico é um dispositivo que converte a luz solar em eletricidade. Já o módulo de filme fino $/watt é uma medida semelhante que indica o custo de um módulo fotovoltaico feito de filmes finos de materiais semicondutores, como o silício amorfo ou o cobre índio gálio selênio (CIGS). Os módulos de filme fino são conhecidos por serem mais flexíveis, leves e menos eficientes em comparação com os módulos de silício cristalino.

Em 2012, por meio da resolução normativa número 482 da ANEEL, foi estabelecida as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração de distribuição de energia, regulamentando que os usuários domésticos que tivessem os painéis fotovoltaicos instalados em casa, obtivessem créditos em suas contas quando houvesse uma produção excedente ao consumo (GOV, 2021).

A energia solar está sendo amplamente utilizada, como no aquecimento de água e ar, para cozinhar e aquecer alimentos, desidratar produtos agrícolas, purificar a água e gerar eletricidade para aparelhos elétricos. Dentre essas aplicações, o aquecimento de água tem especial interesse para a indústria, pequenas e médias empresas, na utilização da casa para a higiene pessoal e preparação de alimentos, uma vez que é uma das atividades realizadas diariamente e que consomem grandes quantidades de energia (NANDWANI; VARGAS, 2014).

Por esta razão, pesquisas sobre aquecimento de líquidos por meio de uso de energia solar ganham relevância no mercado de energias existentes, especialmente nos casos em que o consumo é elevado, no caso aquecimento de piscinas (NANDWANI; VARGAS, 2014).

De acordo com Alves, Florian e Farina (2022), a implementação da domótica em residências traz diversos benefícios para os moradores. Além de proporcionar maior conforto e comodidade, a automação residencial também contribui para a economia de recursos, como energia elétrica e água. Por exemplo, é possível programar o sistema de iluminação para desligar automaticamente em momentos em que não há necessidade de uso, evitando o desperdício de energia. Outro aspecto importante é a segurança. Com a utilização de sistemas automatizados, como alarmes e câmeras de segurança integradas, é possível monitorar a residência de forma remota, aumentando a sensação de proteção e prevenindo possíveis invasões. Além disso, a domótica também permite o controle de aparelhos e dispositivos à distância, por meio de smartphones ou tablets. Dessa forma, é possível ligar e desligar aparelhos eletrônicos, programar a temperatura do ambiente, controlar a entrada e saída de pessoas, mesmo estando longe de casa.

Assim, a presente pesquisa apresenta um projeto de duas casas dentro de um terreno com 1100 m² (um Caso de Estudo). Cada uma dessas casas irá possuir seu próprio fogão a lenha que será responsável pelo aquecimento de uma piscina em uma área comum do local (esta dissertação irá apresentar o projeto de um desses fogões). Essa piscina será instalada no meio do terreno e que, por meio de duas bombas de dois cv irá realizar a movimentação dos fluxos de água passando por duas serpentinas, tanto no fogão da casa A, como da casa B em uma distância em ângulo de 20 metros de cada lado e assim mantendo a mesma aquecida. O motor será alimentado pela energia solar. O sistema será monitorado pelo microcontrolador Arduino. Vale ressaltar, que a presente dissertação irá projetar um fogão a lenha.

1.1 PROBLEMÁTICA

Com a atual crise energética brasileira, surge a necessidade de diversificar a matriz elétrica. A ausência da chuva pode resultar em um colapso das hidrelétricas, enquanto a utilização de termelétricas pode aumentar, drasticamente, os impactos

ambientais e econômicos. Diante do pressuposto, uma alternativa seria a utilização de fontes de energia renováveis, especialmente, a energia proveniente do sol, isto é, a energia fotovoltaica, que é considerada uma fonte de energia abundante, sustentável e não poluente.

Ademais, vale ressaltar que, além da vantagem de utilizar o sistema fotovoltaico para alimentar a necessidade energética do motor da piscina, também será utilizado um fogão a lenha para aquecimento da água, que será composto por tubos dispostos em forma de serpentina. Assim, verificam-se três principais pontos para esta problemática:

- Baixa eficiência: Os fogões a lenha comercializados geralmente possuem baixa eficiência no aproveitamento do calor gerado através da combustão da lenha. Isso resulta em um consumo excessivo de lenha e em uma maior emissão de gases nocivos ao meio ambiente;
- Gases nocivos: Estes gases também podem ser prejudiciais à saúde dousuário, pois muitas vezes os fogões emitem fumaça e gases em ambientes fechados.
- Segurança e manejo: Alguns fogões possuem um sistema que permite a manutenção da chama ou brasa, mas a inserção da lenha geralmente é feita na parte superior do fogão, o que pode gerar dificuldades e acidentes ao remover as bases das panelas. Além disso, esses fogões não possuem uma porta específica para a câmara de combustão, o que pode trazer riscos à segurança.

Adicionando aos aspectos mencionados, as empresas argumentam que encontram dificuldades em manter padrões de processos produtivos que permitam a praticidade e agilidade no desenvolvimento das serpentinas para fornalhas ou câmaras de fogões, em razão da necessidade de dimensionamento e adaptação específica para cada projeto.

Assim, considerando os objetivos do projeto, é necessário definir o problema como uma diretriz principal: "Qual é o melhor fogão a lenha com sistema de aquecimento de água integrado que pode melhorar a eficiência e o controle de emissão de gases? Dessa forma, é possível delimitar os parâmetros do projeto de forma clara e objetiva.

1.2 HIPÓTESES

A implementação e monitoramento do sistema fotovoltaico conectado à rede, em conjunto com o uso do painel web e aplicativo de celular, possibilitará o abastecimento do motor da piscina da residência através do uso de energia limpa e renovável. O uso do microcontrolador Arduino ATMega 2560 contribuirá para um controle e monitoramento do sistema mais preciso e eficiente, permitindo aos usuários finais controle e visualização dos dados coletados pelos sensores de forma mais acessível. Além disso, a inclusão do fogão a lenha proposto e do sistema de aquecimento de água, dimensionados de acordo com as necessidades dos usuários finais, poderão viabilizar ainda mais a utilização de fontes de energia renováveis em suas rotinas diárias. Dessa forma, espera-se que este projeto possa contribuir para a promoção da sustentabilidade e do uso responsável dos recursos naturais na residência.

1.3 JUSTIFICATIVA

Um equipamento que pode ser de grande importância na rotina doméstica é o fogão a lenha, que varia em sua relevância conforme a dependência e a configuração do equipamento na casa. Adotando-se um uso frequente, o fogão pode trazer benefícios ou prejuízos significativos para o usuário, a despeito de sua substituição dos fogões a gás, por exemplo. A partir das características e da disponibilidade da região, o fogão a lenha é capaz de contribuir para a redução dos custos de vida. Ademais, um modelo que possibilite água quente para a casa pode reduzir drasticamente o consumo de energia elétrica, sendo ainda mais vantajoso. Entretanto, há malefícios como a exposição prolongada ao ambiente do fogão, podendo ocasionar riscos à saúde ou mesmo acidentes com danos irreversíveis. Por isso, é importante fornecer uma proposta de produto que privilegie aprimorar suas funções e a interação com o usuário.

Nesse sentido, é possível desenvolver um produto que complementa a necessidade de uma família, proporcionando redução considerável no consumo de energia elétrica ao consumidor. Através do uso do fogão em conjunto com um sistema de aquecimento solar é possível uma economia significativa de energia elétrica. Com

apenas três dias de utilização na semana, é capaz de fornecer água quente para os chuveiros da casa durante toda a semana, já que a água aquecida é armazenada em um reservatório térmico. A eficiência energética pode ser otimizada através da redução de desperdício, com melhor vedação das partes e maior controle da entrada de oxigênio ou com a otimização do fluxo de saída. Ademais, a vedação das partes ajuda na emissão dos gases prejudiciais no ambiente onde o fogão se encontra.

Por fim, uma melhor eficiência do conjunto como um todo pode levar a uma redução dos recursos consumidos, o que se alinha com a prioridade de desenvolver produtos sustentáveis, em consonância com uma das diretrizes estabelecidas por Manzini (2011), que é a Minimização de Recursos. Esse conceito diz respeito à redução do consumo de matéria e energia em relação a um determinado produto, ou mesmo a um serviço oferecido por ele. Essa redução pode acontecer em diferentes etapas, incluindo produção, distribuição e uso do produto.

Um exemplo de como a minimização de recursos pode ser aplicada é a substituição da energia elétrica para aquecimento de água, uma das principais fontes de consumo de eletricidade, por meio do uso do fogão. O aquecimento por meio do fogão permite o aproveitamento de energia gerada por uma fonte renovável, como lenha ou biomassa, em detrimento de combustíveis de origem fóssil, como o gás GLP.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Esta dissertação tem como objetivo apresentar o dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) para ser aplicado em uma residência. Esse sistema solar será responsável por abastecer tanto o motor da piscina quanto a residência. Além disso, o projeto também contemplará um sistema de aquecimento de água, utilizando um aquecedor a lenha, com o intuito de aprimorar a eficiência energética e controlar as emissões de gases.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar as placas fotovoltaicas de modo que supra a necessidade energética do motor da piscina;
- Dimensionar o inversor adequado, para que atenda todas as necessidades do sistema;
- Estimar o custo do sistema fotovoltaico;
- Comparar os *paybacks* dos sistemas solares real e ideal, verificando a viabilidade econômica;
- Projetar um fogão a lenha, com sistema para aquecimento de água da piscina.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REDE DE SENSORES SEM FIO

Durante muito tempo, as redes de sensores dependiam de conexões por fios, devido à limitação tecnológica da época. Entretanto, com o avanço tecnológico do século XXI, foram desenvolvidos módulos de sensores sem fios. Esses módulos consistem em um ou mais sensores, que foram reduzidos em tamanho, têm baixo custo, baixo consumo de energia e podem incluir recursos limitados de processamento, memória e comunicação. Eles são capazes de medir uma variedade de grandezas físicas, como temperatura, distância, luz, umidade, movimento, composição química, entre outras (PEREIRA, 2021).

As redes de sensores sem fio apresentam algumas limitações em relação aos sensores tradicionais. Entre essas limitações, podemos citar os recursos limitados de energia, a distância de comunicação reduzida, a banda de comunicação limitada e a capacidade limitada de processamento e armazenamento em cada nó. As aplicações desses sensores podem ser divididas em duas categorias principais: monitoramento e rastreamento. A função de monitoramento pode ser realizada em ambientes internos ou externos e pode incluir o monitoramento da saúde, bem-estar e segurança. Esses sensores também podem ser utilizados para monitorar equipamentos em geral, seja em indústrias alimentares ou de processos, hospitais ou na agricultura. Essas redes apresentam diversas possibilidades de aplicação, sendo utilizadas em uma ampla gama de setores (PEREIRA, 2021).

Dispositivos autônomos conhecidos como nós sensores são dotados de capacidade de medição, processamento e comunicação. Esses equipamentos são responsáveis pela coleta de dados, que têm diversas utilidades, como geração de alertas, automação e controle de sistemas, monitoramento e suporte à tomada de decisão. A rede de sensores sem fio é composta por um número específico de nós sensores, que varia de acordo com a aplicação, e é fácil de desenvolver e de baixo consumo de energia (LINO; VASCONCELOS; LEÃO; SOARES; MONTEZ; MORAES; VASQUES, 2019).

É possível fornecer energia aos nós da rede por meio de baterias ou por meio de energy harvesting, como é o caso dos módulos solares. É importante destacar que esses nós devem ter um consumo de energia mínimo, devido à limitação de fornecimento de energia. O rádio se destaca como o principal devorador de energia, frequentemente empregando dispositivos de transmissão com taxas de dados modestas (10-100 kbps) e alcance limitado (inferior a 100 m). Para atenuar esse voraz apetite energético, uma estratégia eficaz consiste em manter os nós em modo de baixo consumo pelo maior período possível (ZAGO, 2018).

Segundo Zago (2018), existe uma variedade de opções em redes de sensores, como as terrestres, que possuem muitos nós (centenas ou milhares), atuando também como retransmissores de informações. Essa alternativa é vastamente utilizada para monitoramento ambiental, industrial e sensoriamento em geral. Já as redes subterrâneas utilizam sensores em áreas como minas, cavernas ou subsolo, e os concentradores estão dispostos acima do solo. Devido à dificuldade de recarregar as baterias, técnicas para economia de energia são cruciais. São comuns em setores como monitoramento agrícola, subsolo, água e minerais, bem como fronteira. Por fim, as redes submersas compreendem nós subaquáticos, geralmente mais caros e, por isso, pouco utilizados. Pode-se contar com veículos submersos ou comunicação por meio de ondas acústicas, embora a taxa de transmissão seja baixa. Aplicações incluem monitoramento de poluição, vigilância subaquática, exploração e prevenção de desastres, assim como monitoramento sísmico, entre outros.

Para Lacerda (2021), a camada de monitoramento pode ser constituída por um sensor único ou um grupo deles. O autor destaca que é possível utilizar uma rede de sensores sem fio (RSSF) para monitorar pequenas áreas geográficas, em que as proporções são bem menores quando comparadas com as resoluções dos satélites usados com o mesmo propósito. Essas redes de sensores sem fio se destacam por possibilitar um controle e monitoramento preciso consumindo a menor quantidade de energia possível.

A criação e manufatura moderna são fundamentadas pelo conhecimento da instrumentação. O primeiro passo para obter processos e produtos padronizados e de qualidade otimizada é a verificação da instrumentação. A verificação requer uma etapa de sensoriamento direto ou indireto, para que as características do processo ou produto possam ser observadas e conhecidas. Para controlar essas características, é

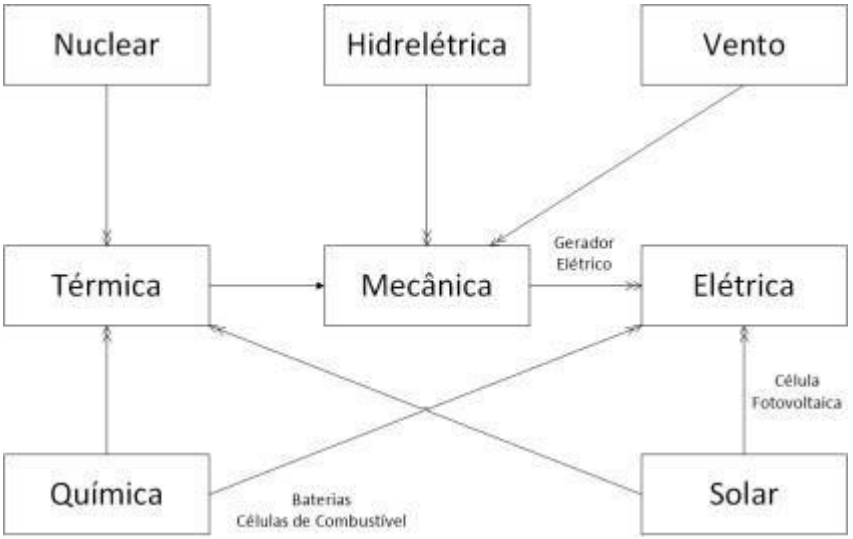
primordial a análise dos sensores, que podem ser encontrados em praticamente todas as etapas da criação de produtos e quase sempre em múltiplas instâncias. No entanto, uma das problemáticas associadas aos sensores é que eles requerem uma infraestrutura física para que seus dados possam ser lidos, o que pode ser bastante inconveniente, especialmente em contextos que exigem o uso simultâneo de vários sensores (RODRIGUES, 2022).

Com os avanços tecnológicos na comunicação sem fio e o rápido crescimento da Internet das Coisas (IoT), tornou-se possível criar Redes de Sensores Sem Fio. Essas redes são capazes de monitorar condições específicas em um determinado ambiente, sem a necessidade de infraestrutura. Elas consistem em nós sensores que realizam medições independentes em pontos-chave ou em um conjunto de pontos de interesse definidos em uma área delimitada (RODRIGUES, 2022), proporcionando uma solução eficiente e flexível para o monitoramento ambiental.

2.2 PANORAMA ENERGÉTICO

No século XXI, a sociedade tem uma demanda energética constante para diversos fins, incluindo processos industriais, cozinha, conforto e entretenimento. A energia utilizada para refrigerar ambientes com ar-condicionado também é empregada para aquecimento de água, alimentos e residências em lugares frios, por meio de queima de gás ou óleo diesel, resistência elétrica ou luz solar. Essas formas de energia são transformadas, mas não criadas nem destruídas. As fontes primárias de energia incluem carvão, petróleo, radiação solar, vento, água corrente e urânio. Quando a energia é convertida em eletricidade, gasolina, diesel ou vapor paratransporte e uso, trata-se de uma forma secundária ou final de energia. As conversõesde energia são importantes na matriz energética mundial e são mostradas na Figura 2, com a principal maneira de produzir energia elétrica sendo a conversão de energia química em térmica, mecânica e elétrica, com perdas em cada conversão. A maior perda na conversão térmica para mecânica ocorre devido ao ciclo de Carnot limitando a eficiência em no máximo 60%.

Figura 2 - Conversão de vários tipos de energia em elétrica.



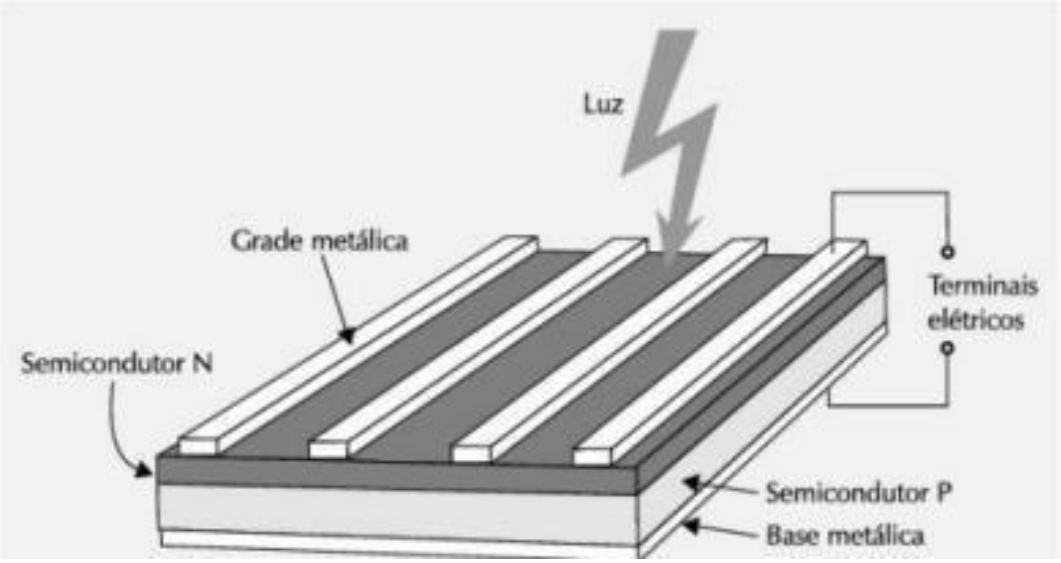
Fonte: Zago (2018).

Na Figura 2, pode-se observar que há duas formas de gerar energia elétrica a partir do sol. A primeira é com a utilização de células fotovoltaicas, que convertem a luz solar em corrente elétrica. A segunda utiliza luz solar concentrada para aquecer vapor e girar turbinas, produzindo energia elétrica. Essa tecnologia é conhecida como *Concentrated solar power* (ZAGO, 2018).

2.3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A Figura 3 mostra uma representação esquemática dos elementos de uma célula fotovoltaica. A célula consiste em duas camadas de material semicondutor, uma camada P e uma camada N, que são colocadas uma em cima da outra. A camada P passa por uma dopagem com impurezas, conferindo ao material um excedente de lacunas, enquanto a camada N é dopada de modo a gerar um excedente de elétrons.

Figura 3 - Disposição dos elementos de uma célula fotovoltaica

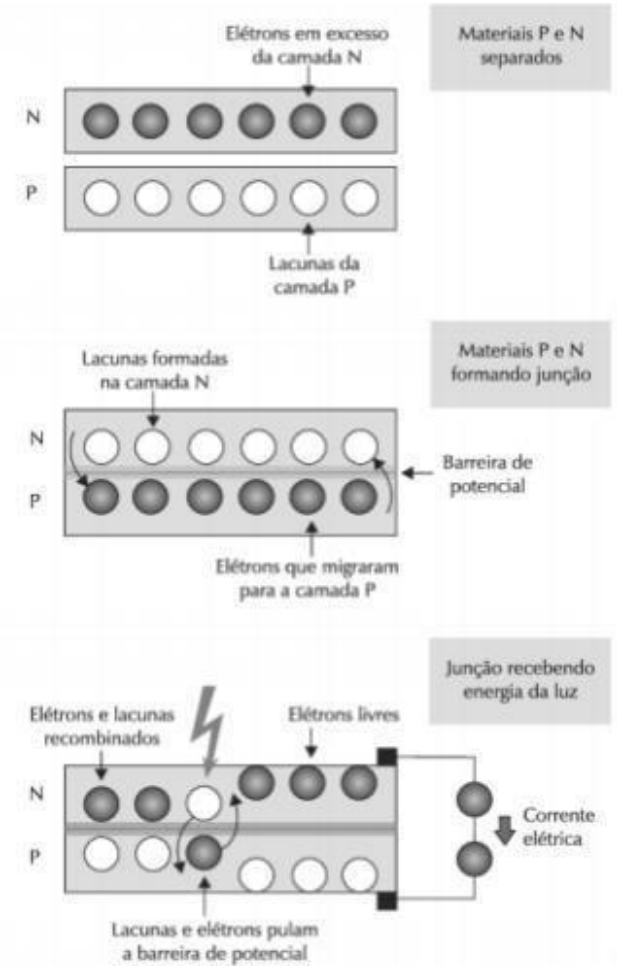


Fonte: Silva (2023).

Primeiramente, tem-se um material semicondutor tipo P e um tipo N separados. Os átomos do material tipo P possuem uma quantidade maior de lacunas (lugares vazios na estrutura atômica) do que elétrons, enquanto os átomos do material tipo N possuem uma quantidade maior de elétrons do que lacunas. Quando esses materiais entram em contato, ocorre a difusão de elétrons da camada tipo N para a camada tipo P, preenchendo as lacunas existentes. Esse processo é chamado de recombinação e cria uma região na junção chamada de zona de depleção.

Essa migração de elétrons gera uma diferença de potencial elétrico entre as camadas, criando uma barreira de potencial que impede a migração contínua de elétrons. Na ausência de luz, os elétrons e as lacunas permanecem aprisionados nessa zona de depleção. No entanto, quando a junção P-N é exposta à luz, ocorre a absorção de fótons pelos elétrons presentes na camada tipo N. Essa absorção de energia faz com que os elétrons aumentem sua energia e se movam para a camada tipo P, criando uma corrente elétrica.

Assim, a formação da junção semicondutora e a exposição à luz são responsáveis pela geração de corrente elétrica nesses materiais. Essa propriedade é amplamente utilizada em dispositivos eletrônicos, como os diodos, que aproveitam essa característica para permitir o fluxo de corrente elétrica em um sentido específico.
Figura 4 – Ilustração do que ocorre internamente em uma célula fotovoltaica.



Fonte: Silva (2023).

O semicondutor mais utilizado na produção dos painéis é o silício, mas existem também outras tecnologias de materiais utilizados, o que possibilita fazer um comparativo de eficiência entre elas, como ilustra a Tabela 1.

Tabela 1 - Comparativo de eficiência de materiais que compõem as células fotovoltaicas.

MATERIAL DA CÉLULA FOTOVOLTAICA	EFICIÊNCIA DA CÉLULA EM LABORATÓRIO	EFICIÊNCIA DA CÉLULA COMERCIA	EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS COMERCIAIS
SILÍCIO MONOCRISTALINO	24,7%	18%	14%
SILÍCIO POLICRISTALINO	19,8%	15%	13%
SILÍCIO AMORFO	13%	10,5%	7,5%

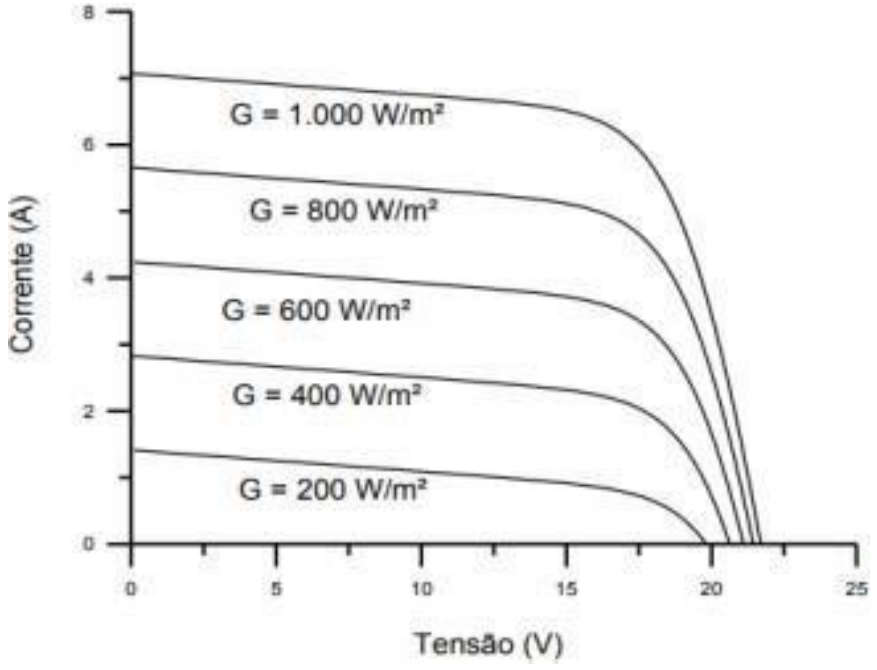
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
TALURETO DE CÁDMIO	16,4%	10%	9%

Fonte: Energia e eletricidade (2012).

Após analisar os dados da Tabela 1, conclui-se que o silício monocristalino, o silício policristalino e o silício amorfo apresentam valores mais satisfatórios em termos de eficiência, o que explica por que são amplamente utilizados na fabricação de painéis solares. É importante destacar que a eficiência e o desempenho dos módulos dependem diretamente da quantidade de luz solar recebida e da temperatura das células fotovoltaicas (CEPEL/CRESESB, 2014).

Conforme a quantidade de luz solar aumenta, a corrente elétrica gerada pelo módulo tende a aumentar também. Em outras palavras, quanto maior a irradiância recebida pelo painel, maior será a corrente elétrica gerada. A Figura 5 ilustra como a irradiância afeta a geração de potência, causando um aumento na corrente elétrica.

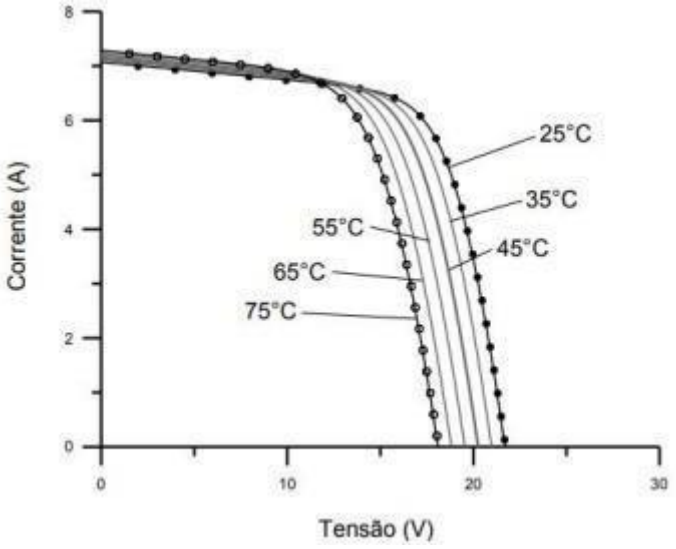
Figura 5 - Efeito causado pela irradiância em um painel fotovoltaico



Fonte: Silva (2023).

Os efeitos da irradiância estão relacionados com o aumento da temperatura das células, que por sua vez está relacionada com uma queda de tensão sofrida. Essa queda de tensão devido a temperatura é mostrada na Figura 6, onde é possível notar que quanto maior a temperatura, maior é a queda de tensão (CEPEL/CRESESB, 2014).

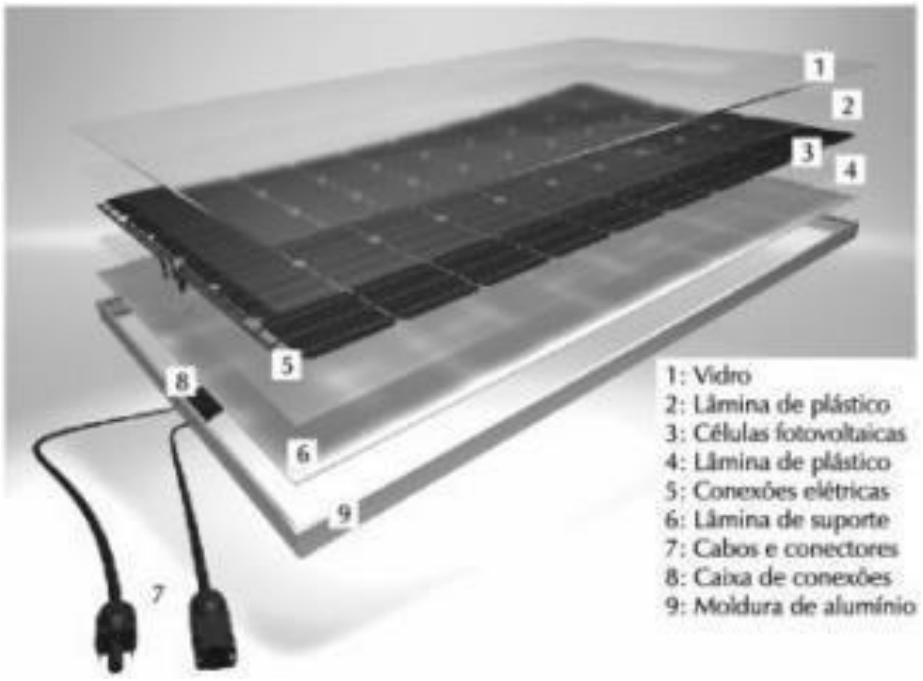
Figura 6 - Efeito causado pela temperatura em um painel fotovoltaico.



Fonte: Silva (2023).

No processo de produção de um módulo fotovoltaico, as células e conexões são recobertas e encapsuladas dentro de lâminas de plástico. Logo depois, o módulo é envolvido por uma lâmina de vidro, e por fim uma moldura de alumínio é aplicada. Os cabos e conexões elétricos são dispostos na parte traseira dos módulos, em uma espécie de caixa. A Figura 7 mostra o processo de fabricação de um módulo em questão.

Figura 7 - Disposição dos componentes básicos de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Silva (2023).

2.4 MICROCONTROLADORES

O microcontrolador é descrito como sendo um dispositivo computacional compacto em um único chip. Dentro desse chip estão presentes diversos componentes, incluindo o processador com a Unidade Lógica e Aritmética (ULA), memória, dispositivos de entrada e saída, temporizadores, bem como dispositivos de comunicação serial. Esses microcontroladores foram desenvolvidos a partir da necessidade de lidar com circuitos digitais mais complexos (ALMEIDA; SILVA; FELIX; GUIMARÃES, 2021).

Díaz Ronceros (2020), define o microcontrolador como um circuito integrado que possui uma arquitetura semelhante à de um computador, como memórias de RAM, EEPROM, CPU e periféricos de entrada e saída (E/S). Os microcontroladores possuem a habilidade para substituir um grande número de circuitos lógicos, como portas digitais AND, OR, NOT, NAND, temporizadores, decodificadores, conversores A/D - D/A, etc., simplificando o projeto para uma placa de circuito impresso ou Printed Circuit Board (PCB) de dimensão reduzida e poucos componentes (DÍAZ RONCEROS, 2020).

É possível concluir que uma alternativa mais simples, econômica e compacta para substituir a lógica das portas digitais é o uso de um conjunto de processador e software. A empresa Intel lançou o primeiro microcontrolador em 1977, o "8048", que posteriormente deu origem à família "8051" (Figura 8). Esse chip é programado em linguagem Assembly e tem uma ampla variedade de instruções, sendo amplamente utilizado em diversas aplicações de automação e processos em todo o mundo (ALMEIDA; SILVA; FELIX; GUIMARÃES, 2021).

Figura 8 - Microcontrolador chip (esquerda). Microcontrolador Intel 8051 (Direita).

Fonte: (ALMEIDA; SILVA; FELIX; GUIMARÃES, 2021).

Almeida, Silva, Felix e Guimarães (2021) ressaltam que a família “8051” é vista como o microcontrolador mais popular do mundo, pois existem milhares de aplicações, e existem pelo menos dois mil fabricantes produzindo variantes e clones do modelo. Além de oferecer um conjunto de instruções muito vasto, permitindo executar desde um simples programa que faz piscar um LED até um programa de controle de acesso controlado por rede.

Conforme Díaz Ronceros (2020), o microcontrolador é um dispositivo eletrônico que possui diversas partes importantes em sua arquitetura interna, cada qual com sua função específica. Dentre essas partes estão:

1- Processador: peça chave no processamento de dados, sendo responsável por interpretar as instruções do programa. A qualidade do processador é essencial para garantir o máximo desempenho do microcontrolador;
2- Memória não volátil: é a parte da arquitetura que armazena o programa de controle do microcontrolador. Os fabricantes projetam os microcontroladores para que essas instruções sejam gravadas permanentemente em sua memória de programação, não permitindo a utilização de memórias externas para expansão;

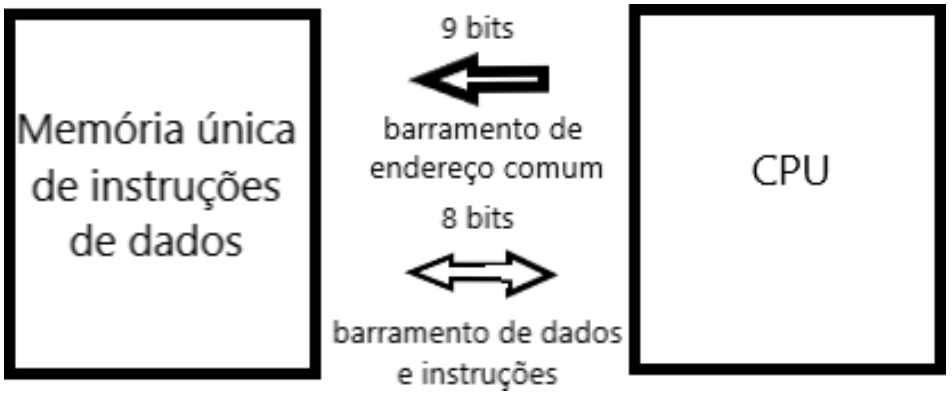
3- Memória de leitura e escrita: como as informações processadas pelos programas variam constantemente, é importante que o microcontrolador possua uma memória adequada para salvá-las, mesmo que essa memória seja volátil. A RAM estática (SRAM) é utilizada para esse fim. Existem também microcontroladores que possuem memória do tipo EEPROM, que é não volátil, e que é utilizada para leitura e escrita de dados;
4- Linhas de entrada e saída: o microcontrolador possui diversos pinos que são utilizados para se comunicar com periféricos externos. Existem pinos especiais para conexão de alimentação, cristal de oscilação e *reset*. Os outros pinos permitem a comunicação do microcontrolador com dispositivos externos através de protocolos como I2C e USB;
5- Dispositivos auxiliares: o microcontrolador pode incorporar diversos acessórios que complementam o seu funcionamento, como geradores de *clock*,contadores e módulos USART para comunicação serial.

Portanto, a arquitetura do microcontrolador é composta de diversos componentes fundamentais que trabalham em conjunto para garantir o máximo desempenho e flexibilidade no processamento de dados.

2.4.1 Arquitetura de Von Neuman e Harvard

Com os avanços tecnológicos, testemunhamos a transição dos processadores de arquitetura convencional do tipo Von Neumann para a sofisticação da arquitetura Harvard. A Figura 9 esboça de maneira elucidativa a arquitetura de Harvard, enquanto a Figura 10 retrata a arquitetura tradicional do tipo Von Neumann. A distinção da arquitetura de Harvard reside na conexão singular da CPU a uma memória exclusiva, onde dados e instruções são armazenados por meio de um sistema de barramento.

Figura 9 - Arquitetura de Von Neuman



Portanto, as duas arquiteturas se diferenciam pelo fato de que na arquitetura Von Neuman, um sistema de processamento de dados possui uma única área de memória que armazena tanto os dados quanto o programa a ser executado, enquanto na arquitetura Harvard, os dados são armazenados em uma área de memória separada do programa, conforme afirma Almeida, Silva, Felix e Guimarães (2021).

De acordo com Almeida, Silva, Felix e Guimarães (2021), a proposta de Von Neuman para a máquina é composta por diferentes elementos, incluindo Memória, Unidade de Controle, Unidade Lógica e Aritmética (ULA), Registradores e Periféricos de Entrada e Saída. Como pode ser visto na Figura 10, não há distinção entre dados e programa, pois ambos são alojados em uma única área de armazenamento. Nessa configuração, a CPU executa uma ação de cada vez, alternando entre a manipulação dos dados e a execução das instruções. Portanto, cada processo é realizado sequencialmente.

A arquitetura de Harvard é constituída por duas memórias independentes: a memória de programas e a memória de dados. Cada uma dessas memórias possui o seu próprio sistema de barramento de acesso, o que permite uma característica dual e possibilita a geração de paralelismo, oferecendo barramentos específicos para instruções e requisitos de dados. É importante destacar que a quantidade de cada memória pode variar. Na arquitetura de Harvard, há dois barramentos distintos, um para acessar a memória de dados e outro para acessar a memória de programas. Assim, o processador é capaz de buscar e executar uma instrução simultaneamente

ao acesso à memória de dados para a leitura ou escrita de informações (KANG; PARK, 2021). Dessa forma, é possível obter um melhor desempenho do microcontrolador, maximizando a sua performance.

Figura 10 - Arquitetura de Harvard

Devido à separação clara entre dados e programas, os processadores da arquitetura Harvard conseguem executar programas com uma velocidade muito mais rápida do que os processadores da arquitetura Von Neuman de mesmo clock. Esses microcontroladores com arquitetura Harvard são comumente chamados de “microcontroladores RISC” (Reduzido Conjunto de Instruções para Computador), enquanto os microcontroladores com arquitetura Von Neuman são conhecidos como “microcontroladores ; CISC” (Conjunto Complexo de Instruções para Computador). (POTE; PATHAN; TILEKAR, 2022).

Portanto, atualmente, a maioria dos processadores é composta por uma arquitetura do tipo RISC (computadores com conjunto de instruções reduzido). Essa arquitetura caracteriza-se por possuir um conjunto reduzido e pequenas instruções de máquina, de maneira que o maior conjunto de instruções que pode ser executado é um ciclo de instrução.

2.5 INVERSORES

Os painéis solares fotovoltaicos têm a capacidade de gerar energia em corrente contínua (CC). No entanto, a maioria dos dispositivos presentes em uma residência opera com a rede elétrica, que é alimentada por corrente alternada (CA). Por isso,

tanto os sistemas conectados à rede elétrica pública como os sistemas isolados requerem um inversor para converter a energia CC gerada pelos painéis solares e/ou baterias em energia CA, de acordo com as necessidades da unidade consumidora (GHOSH, 2020).

Existem dois tipos de inversores disponíveis: Off Grid e On Grid, também conhecidos como Grid Tie. A primeira categoria refere-se a sistemas fotovoltaicos independentes, que não dependem de outras fontes de energia além dos painéis solares (HIZARC; PEKPERLAK; ARIFOGLU, 2021). A Figura 11 mostra alguns exemplos de inversores Off Grid.

Figura 11 - Inversores *Off Grid.*

Fonte: Silva (2023).

Os inversores Grid Tie ou On Grid, para além de efetuar a conversão da energia proveniente das placas solares, possibilitam a conexão do sistema de geração solar à rede elétrica fornecida pela concessionária de energia. A Figura 12 ilustra alguns modelos de inversores *On Grid.*

Figura 12 - Inversores *Grid Tie* ou *On Grid.*

Fonte: Silva (2023).

Os inversores Grid Tie possuem uma ampla variedade de funções operacionais. Além de converter CC em CA, eles também possuem recursos adicionais para controlar a potência entre a usina solar e a distribuidora de energia.

Eles podem ajustar os parâmetros de saída, como correntes harmônicas, frequência, tensão e fator de potência. Além disso, os inversores têm a capacidade de monitorar as tensões e correntes provenientes dos painéis fotovoltaicos.

2.6 RESOLUÇÕES NORMATIVAS DA ANEEL – NORMAS PARA ENERGIA SOLAR

A partir de 2010, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) iniciou uma série de consultas públicas visando a criação da Resolução Normativa 482. Publicada em 17 de abril de 2012, essa resolução viabilizou a autogeração de energia elétrica, entrando em vigor nove meses após sua publicação. Conforme informações do portal Solar (ZAGO, 2018), a Resolução Normativa 482 estabelece as condições gerais para a conexão de unidades de microgeração e minigeração distribuídas à rede de distribuição da concessionária local, além de instituir medidas de compensação para eventuais excedentes de geração.

Posteriormente, em 2015, após realização de novas consultas públicas, foi publicada a resolução normativa 687 que promoveu modificações em relação à resolução anterior (ZAGO, 2018). De acordo com Zago (2018), as principais alterações incluem a definição de microgeração para centrais com potência instalada igual ou inferior a 75 kW e minigeração com potência de até 5 MW para fontes renováveis não hídricas. Além disso, foi estabelecida a possibilidade de empréstimo gratuito do excedente de energia gerada para a concessionária, que posteriormente poderá utilizar esse crédito em até 60 meses.

A resolução também regulamentou a compensação de créditos em condomínios que não utilizem vias públicas ou propriedades de terceiros. Foi ainda determinada a criação de consórcios ou cooperativas para a compensação entre membros que estejam na mesma área de concessão ou permissão. Outra mudança importante foi a permissão para que um consumidor, seja ele pessoa física ou jurídica, que possua unidades de microgeração ou minigeração em uma mesma concessionária, possa obter créditos em um local e utilizá-los em outra unidade. No que diz respeito às tarifas, foi estabelecida a cobrança de um consumo mínimo correspondente à conexão do consumidor na conta. Por fim, ficou estabelecido que a distribuidora é responsável técnica e financeiramente pelo sistema de medição, sendo

de responsabilidade do consumidor os custos de adequação do medidor para geração distribuída.

2.7 INTERNET DAS COISAS

Na década de 1950, Alan Turing, cientista e matemático, argumentava sobre a possibilidade da existência de uma inteligência artificial capaz de competir com seres humanos em todas as áreas intelectuais. Ele propôs que, para isso, seria necessário fornecer às máquinas os melhores órgãos sensoriais disponíveis e ensiná-las a entender e falar em inglês seguindo o ensino normal de uma criança. Essa visão de Turing prenuncia a ideia de coisas com identidades e personalidades virtuais operando em espaços inteligentes e usando interfaces inteligentes para se comunicar dentro de contextos sociais, ambientais e de usuários (CARRION; QUARESMA, 2019).

Em um contexto mais recente, no final da década de 1990, Kevin Ashton, um pesquisador britânico do Massachusetts Institute of Technology (MIT), foi o primeiro a mencionar o termo Internet das Coisas. Ele levantou a ideia de computadores com a capacidade de armazenar informações sobre tudo possível e conhecer o ambiente ao seu redor sem intervenção humana. A partir desse conceito, é possível reduzir significativamente os custos, o desperdício e as perdas (LOPES; DOS SANTOS; AMICI; CAMUSSO; FERNANDES, 2022).

Assim, a Internet das Coisas é um sistema que une dispositivos físicos por meio de um endereço de IP3 ou outra rede, permitindo a troca, armazenamento e coleta de informações para indivíduos e organizações por meio de software. Para um funcionamento adequado, hardwares, softwares e tecnologias de processamento de dados são empregados, com funções específicas dentro do contexto mais amplo (DE ALMEIDA; VIEIRA; OLIVEIRA; SCHIAVONI, 2018).

Parte superior do formulário

Parte inferior do formulário

De acordo com a definição proposta por Carrion e Quaresma (2019) o fluxo de dados pode ser descrito como um processo que envolve diferentes etapas. Inicialmente, os sensores presentes em diversas máquinas são responsáveis por captar informações sobre o ambiente e coletá-las. Exemplos desses sensores podem ser encontrados em smartphones, roteadores, termômetros, entre outros dispositivos. Em seguida, esses dados são transportados para um centro de dados, conhecido como "Cloud", onde são armazenados e analisados através da computação em nuvem. Esse processo permite que essas informações sejam processadas de forma mais eficiente e confiável. Uma vez analisados, esses dados são utilizados por uma aplicação de software específica, que controla as informações e fornece serviços ao usuário final. Por fim, o consumidor, ou seja, o usuário final, compartilha essas informações com serviços e outras pessoas, completando assim o fluxo de dados.

Quanto ao modelo de comunicação de dispositivo, ele é baseado na tecnologia da Internet das Coisas (IoT) e envolve a conexão direta de dois ou mais dispositivos através de um servidor de aplicativos intermediário. Esses dispositivos se comunicam através de diferentes tipos de redes, como redes IP ou a Internet, utilizando protocolos como Bluetooth, Z-Wave ou ZigBee, por exemplo. Esse modelo de comunicação é frequentemente utilizado em sistemas de automação residencial, onde pequenos pacotes de dados são transmitidos entre os dispositivos para cumprir diferentes funções. Por exemplo, dispositivos como luzes, lâmpadas, interruptores, termostatos e fechaduras de portas enviam informações entre si, como mensagens de status de travamento da porta ou comandos de acendimento de luz (CARRION; QUARESMA, 2019).

No entanto, essa abordagem apresenta vários desafios, como a interoperabilidade entre dispositivos que utilizam diferentes protocolos de comunicação. É necessário, portanto, um constante desenvolvimento tecnológico para superar esses obstáculos e tornar a comunicação entre dispositivos mais eficiente e abrangente (CARRION; QUARESMA, 2019).

O modelo de comunicação de dispositivo através da tecnologia da Internet das Coisas (IoT) se refere a duas ou mais ferramentas que se conectam de forma direta e conversam entre si utilizando um servidor intermediário de aplicativos. As interações acontecem por meio de diversas redes, como a IP ou a própria Internet, enquanto os protocolos mais frequentemente utilizados são o Bluetooth, o Z-Wave e o ZigBee. Por

meio dessas conexões, as máquinas que usam um mesmo protocolo trocam mensagens em prol do seu funcionamento.

Esse tipo de comunicação é muito comum em aplicações de automação doméstica, especialmente quando há a necessidade de compartilhar pequenas quantidades de dados entre diversos dispositivos eletrônicos. Isso porque dispositivos como lâmpadas, interruptores, fechaduras e termostatos costumam se comunicar por meio de informações em mensagens breves, como uma atualização do status de abertura de uma porta ou uma solicitação de acendimento de luz. Todavia, essa abordagem traz consigo muitos desafios relacionados à interoperabilidade.

2.8 COMPUTAÇÃO EM NUVEM

A migração da computação em servidores locais para servidores na nuvem, ou seja, mantidos por uma empresa que presta este serviço para uma infinidade de outras empresas e consumidores é um dos paradigmas da contemporaneidade, tendo como vantagem a desnecessidade de manter servidores ociosos localmente para atender a uma demanda momentânea. De acordo com Sunyaev (2020) os serviços na nuvem podem ser bastante úteis em momentos de necessidade, como numa grande promoção de vendas, onde a loja diminui o preço dos produtos aumentando significativamente a demanda e o número de acessos simultâneos ao site.

Empresas globais como Amazon, IBM, Microsoft e Google Cloud oferecem serviços de hospedagem de máquinas virtuais em seus servidores na nuvem. A maioria desses serviços utiliza a tecnologia da Internet das Coisas (IoT), embora essa tecnologia possa ser difícil de acessar e ofereça apenas um uso temporário. Zago (2018) destaca duas das tecnologias mais conhecidas dentro do IoT: ThingSpeak ™ e Ubidots. ThingSpeak ™ é uma plataforma de dados analíticos voltada para o IoT, desenvolvida pelos criadores do MATLAB e Simulink. Isso permite que os usuários agreguem, visualizem e analisem dados de projetos que usam IoT em uma única plataforma baseada em nuvem. A plataforma ThingSpeak é aberta e oferece uma infraestrutura web e um protocolo baseado em HTTP (Hypertext Transfer Protocol) para enviar e receber dados de microcontroladores Arduino, ESP ou qualquer outro dispositivo que possa se comunicar em rede (LOPES; DOS SANTOS; AMICI; CAMUSSO; FERNANDES, 2022). Ubidots é uma plataforma usada para enviar e

receber dados de sensores para a nuvem a partir de qualquer smartphone ou laptop conectado à Internet. A plataforma oferece benefícios como aprimoramento de serviços de computação, armazenamento e recuperação de dados IoT, além de uma interface fácil de usar (MOHAMED; SELMAN, 2020).

Na literatura, há diversos projetos de IoT que fazem uso destas plataformas, dentre eles: ·

- Mohamed e Selman (2022) apresentam um projeto para gerenciamento e monitoramento de energia elétrica doméstica. O projeto consiste em controlar a corrente máxima que a casa irá receber, para que a conta de energia seja reduzida. Neste projeto foi utilizada a tecnologia do Arduino UNO para controle e recebimento de dados. Os dados recebidos pelo Arduino são transferidos para o Node MCU usando o módulo RF (HC-12) e o monitoramento é realizado utilizando a plataforma Ubidots. Por fim, os autores concluíram que a plataforma Ubidots usando o Wi-Fi-ESP 8266, incluído na placa node MCU apresentaram uma resposta rápida em atualização dos dados, bem como a sua segurança.
- Akyol (2023) desenvolveu um sistema que tem como objetivo impedir a propagação de incêndios florestais. Para eles, a parte principal da prevenção de incêndios é a detecção de incêndios florestais. Por isso, utilizou-se a placa ESP32 e sensores de chuva, sensor de som, sensor DHT11, sensor PIR, além da plataforma Ubidots.
- Mirashe e Kalyankar (2010) definem a nuvem como um grande grupo de computadores interconectados. Esses computadores podem ser pessoais ou servidores de rede; eles podem ser públicos ou privados. Assim, a computação em nuvem é a possibilidade de acessar arquivos e executar diferentes tarefas pela Internet, sem a necessidade de instalar aplicativos em um computador.

O armazenamento de dados na nuvem é feito por meio de uma rede. Dessa forma, para realizar alguma tarefa, basta se conectar ao serviço online e desfrutar das suas ferramentas disponíveis. A Computação em Nuvem é utilizada para armazenar e analisar grandes quantidades de dados típicos de aplicações da indústria e agroindústria 4.0. Por exemplo, o Google hospeda uma nuvem que consiste tanto em PCs pequenos, quanto servidores maiores. A nuvem do Google possui um sistema

privado, ou seja, é propriedade do Google (acessível publicamente pelos usuários do Google). Essa nuvem de computadores se estende além de uma única empresa ou empreendimento (MIRASHE; KALYANKAR, 2010).

Os aplicativos e dados hospedados na nuvem estão acessíveis a um amplo espectro de usuários, incluindo empresas e diversas plataformas, com acesso via Internet. Qualquer usuário autorizado pode entrar nesse universo de documentos e aplicativos de qualquer computador, conectado a qualquer ponto da Internet. Para o usuário comum, a tecnologia e a infraestrutura que sustentam a nuvem são praticamente invisíveis, e, na maioria dos casos, pouco importa se os serviços em nuvem utilizam HTTP, HTML, XML, JavaScript ou outra tecnologia específica (MIRASHE; KALYANKAR, 2010).

2.8.1 Conexão em Nuvem

De acordo com Mirashe e Kalyankar (2010), é possível estabelecer um modelo de comunicação dispositivo-nuvem, no qual o dispositivo IoT conecta-se diretamente a um serviço de nuvem na Internet como provedor de serviços de aplicativos. Tal conexão possibilita a troca de dados e o controle do fluxo de mensagens. Essa abordagem é viabilizada por meio de mecanismos de comunicação pré-existentes, como o cabo Ethernet ou conexões Wi-Fi, que conectam o dispositivo à rede IP e, por fim, à nuvem de serviços. A Figura 13 ilustra esse processo.

Figura 13 – Exemplo de conexão entre o dispositivo e a rede IP

De acordo com Mirashe e Kalyankar (2010), um modelo de comunicação bastante utilizado por diversos dispositivos de IoT de consumo é o que segue uma conexão em nuvem. Essa tecnologia é empregada em produtos como o Nest Labs Learning e a Samsung SmartTV, por exemplo. O Nest Labs Learning é um termostato que envia informações para um banco de dados em nuvem, onde estas são analisadas para determinar o consumo de energia em uma residência. Além disso, a conexão em nuvem possibilita que o usuário acesse o termostato remotamente através de um smartphone ou interface Web, além de permitir atualizações de software para o dispositivo. Já a Samsung SmartTV utiliza uma conexão com a internet para coletar informações sobre o comportamento de visualização do usuário, permitindo que a TV ofereça recursos interativos de reconhecimento de voz.

Nesses casos, o modelo de dispositivo para nuvem agrega valor ao usuário final, estendendo os recursos do dispositivo além de seus recursos nativos. Entretanto, podem surgir desafios de interoperabilidade ao tentar integrar dispositivos feitos por diferentes fabricantes. Frequentemente, o dispositivo e o serviço de nuvem são do mesmo fornecedor. Se dados protocolos são usados entre o dispositivo e o serviço de nuvem, o proprietário ou usuário do dispositivo pode estar vinculado a um serviço em nuvem específico, limitando ou impedindo o uso de provedores de serviços alternativos. Isso é comumente referido como “vendor lock-in”, um termo que engloba outras facetas do relacionamento com o fornecedor como propriedade e acesso aos dados. Ao mesmo tempo, os usuários geralmente podem ter certeza de que dispositivos projetados para a plataforma específica podem ser integrados.

2.9 QUEIMA DE LENHA E CARVÃO EM AMBIENTES FECHADOS

De acordo com a SindiGas (2017), os impactos na saúde resultantes do uso de combustíveis sólidos, como lenha e carvão vegetal, em ambientes residenciais estão intimamente ligados ao tipo de combustão envolvido. A combustão incompleta pode gerar gases e partículas potencialmente tóxicos, cuja presença durante o processo de queima pode variar.

Os níveis e tipos de poluentes provenientes da queima durante a cocção dependem de vários fatores, como o equipamento utilizado, as condições da

combustão e o tipo de combustível empregado. Fogões tradicionais, como o de três pedras, que utilizam combustíveis sólidos, podem gerar consideráveis níveis de poluição. Em contrapartida, fogões melhorados, construídos localmente de maneira econômica, apresentam vantagens, como menor emissão de fumaça, menor deposição de fuligem, economia de combustível e portabilidade. Já os fogões modernos, como os a gás, consomem menos combustível e emitem quantidades reduzidas de gases e partículas (SINDIGAS, 2017; DE ALMEIDA JÚNIOR, 2017).

A escolha inadequada, defeitos ou instalação incorreta de aparelhos de cozinha podem acarretar sérios problemas de saúde. Quanto aos combustíveis, diversas opções são utilizadas nas residências para a cocção, provenientes de fontes variadas e com diferentes impactos na saúde e no meio ambiente. Segundo o De Almeida Júnior (2017), esses combustíveis se dividem em três categorias: modernos (energia elétrica e gás LP), intermediários (querosene e carvão vegetal) e tradicionais (lenha, esterco seco e resíduos agrícolas). Cada categoria apresenta características e implicações distintas, destacando a importância da escolha consciente para minimizar impactos negativos à saúde e ao ambiente.

Conforme De Almeida Júnior (2017), a combustão é a conversão da energia química dos combustíveis em calor, por meio de reações com o oxigênio. No âmbito energético, a combustão direta ocorre em fogões, fornos e caldeiras, embora seja geralmente ineficiente.

Para alcançar uma queima mais limpa dos combustíveis sólidos em fogões, alguns pontos destacados por De Almeida Júnior (2017) incluem garantir uma corrente adequada de ar, isolar termicamente a área ao redor do fogo, evitar o uso de materiais pesados e frios como isolamento, elevar o combustível, posicionar uma chaminé curta acima do fogo, controlar a inserção de lenha, limitar a entrada de ar frio e garantir uma quantidade adequada de ar para a combustão completa. Essas práticas buscam otimizar a eficiência do processo de queima e reduzir os impactos ambientais e de saúde associados à emissão de poluentes.

2.9.1 Benefícios do fogão a lenha

Para compreender como é viável desenvolver um fogão a lenha incorporando os princípios observados em um fogo aberto, destacam-se as principais vantagens de um fogão do tipo "três pedras", conforme De Almeida Júnior (2017).

- A energia térmica não é transferida para o corpo ou massa do fogão. Ao contrário de fogões maiores que possuem um corpo absorvente de calor, capturando energia que poderia ser direcionada para a panela ou utensílio utilizado na cocção. O fogão "três pedras" tem a capacidade de ferver rapidamente uma panela com água.
- O fogo entra em contato direto com o fundo e frequentemente com as laterais da panela, expondo uma grande parte dela aos gases quentes provenientes da combustão.
- A lenha (madeira/galhos) pode ser alimentada ao fogo no momento apropriado, conforme a queima das pontas, proporcionando uma combustão completa do material.
- Um bom fogo aberto pode queimar de maneira relativamente limpa. Apesar de todos os fogões a lenha apresentarem a desvantagem de um corpo ou massa que absorve o calor do fogo, um fogão bem projetado ainda pode alcançar uma eficiência de combustão e uso de combustível superior em comparação a um fogo aberto.

2.10 DOMÓTICA

A automação residencial, também conhecida como Domótica, refere-se a uma rede integrada que controla e ajusta as funções elétricas, tecnológicas e sustentáveis de uma habitação digital para atender às necessidades das pessoas (ALVES; FLORIAN; FARINA, 2022). Conforme afirma Oliveira e Piolla (2020), as vantagens da domótica são diversas, proporcionando uma casa mais moderna, prática, fácil de usar, energeticamente eficiente e segura, o que valoriza o empreendimento e eleva o nível de conforto. No entanto, é importante considerar tanto os benefícios quanto as desvantagens desse sistema.

Entre as vantagens, destacam-se a segurança domiciliar aprimorada, a redução potencial de postos de trabalho, a eficiência energética e a diminuição dos

gastos com eletricidade. A base distribuída da domótica contribui para a robustez e interoperabilidade, tornando-a uma escolha favorável para fabricantes de dispositivos eletrônicos voltados à automação residencial (OLIVEIRA; PIOLLA, 2020).

Os objetivos da domótica na habitação incluem a gestão energética, comunicação eficaz e suporte a pessoas idosas ou com incapacidades. No entanto, as desvantagens também devem ser consideradas, como o investimento inicial elevado, altos custos de manutenção, possível redução de postos de trabalho e desafios relacionados à adaptação de interfaces homem-máquina (OLIVEIRA; PIOLLA, 2020).

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto consiste no dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) para ser instalado em uma residência, com o objetivo de atender à demanda energética tanto do motor da piscina quanto da própria residência. Além disso, o projeto incluirá a implementação de um sistema de aquecimento de água usando um aquecedor a lenha, visando melhorar a eficiência energética e controlar as emissões de gases poluentes.

O dimensionamento adequado de um SFCR é essencial para garantir a sustentabilidade e a economia de energia elétrica em uma residência. Para isso, é necessário levar em consideração a quantidade de energia consumida tanto pela residência quanto pelo motor da piscina. Através do uso de painéis solares, será possível captar a energia solar e convertê-la em energia elétrica, abastecendo assim os equipamentos eletroeletrônicos presentes na residência e o motor da piscina.

Em paralelo, a implantação de um sistema de aquecimento de água utilizando um aquecedor a lenha proporcionará benefícios adicionais. Ao substituir métodos tradicionais de aquecimento de água, como o uso de chuveiros elétricos, por um sistema mais sustentável, será possível reduzir ainda mais o consumo de energia elétrica. Além disso, o aquecedor a lenha tem a vantagem de emitir menos gases poluentes em comparação a outras formas de aquecimento, contribuindo para a preservação do meio ambiente.

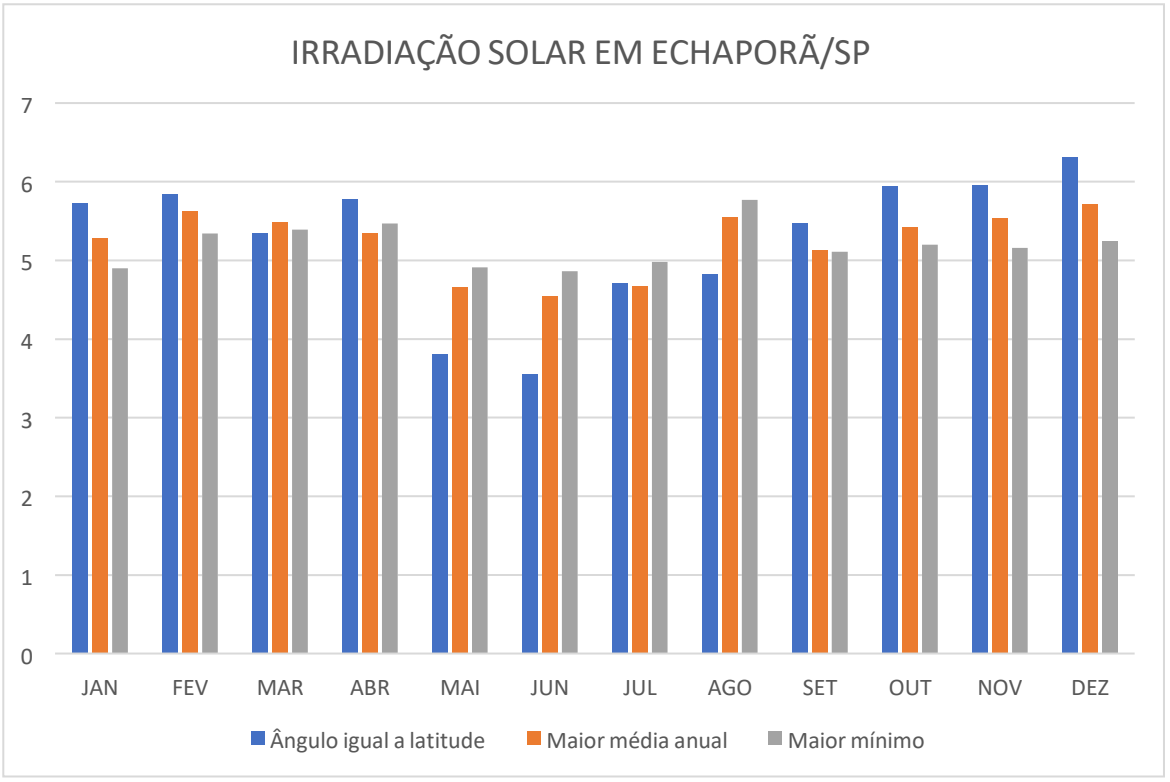
3.2 PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

Para dimensionar o sistema fotovoltaico adequadamente, é necessário coletar dados sobre o consumo diário e mensal da residência onde o projeto será implantado, a fim de estimar a média anual para realizar os cálculos. Conforme mencionado pelo Portal Solar (2022), a Energisa exige um consumo mínimo de 30kWh, o que significa que mesmo que o consumidor não utilize a energia elétrica, ele será cobrado por essa taxa mínima.

3.2.1 Cálculo da Irradiação Solar

Foram coletados os valores médios de irradiação solar da cidade de Echaporã/SP através do site http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data. A CRESESB oferece uma página online que apresenta os dados de latitude e longitude do município e exibe a média diária de irradiação solar [kWh/m2.dia]. Como exemplo, para a cidade de Echaporã/SP, foram utilizadas as coordenadas de latitude sul 22° 25’ 46” e longitude oeste 50° 12' 02”. A Figura 14 exibe um gráfico que representa os dados de irradiação solar em Echaporã. No gráfico, o eixo x representa o ângulo, sendo igual à latitude (cor azul), a maior média anual (cor laranja) e o máximo mínimo (cor cinza), sequencialmente. Por sua vez, o eixo y representa os meses do ano.

Figura 14 - Irradiação solar média.



Fonte: O Autor, baseado nos dados de CRESESB (2018).

A Tabela 1 ilustra os valores do ângulo, maior média anual e o maior mínimo obtidos pelo CRESESB.

Tabela 2 - Irradiação solar média.

MÊS	Ângulo igual à latitude	Maior média anual	Maior mínimo
JAN	5,73	5,28	4,9
FEV	5,84	5,63	5,34
MAR	5,34	5,49	5,39
ABR	5,78	5,35	5,47
MAI	3,81	4,66	4,91
JUN	3,55	4,54	4,86
JUL	4,71	4,68	4,98
AGO	4,82	5,55	5,77
SET	5,47	5,13	5,11
OUT	5,94	5,42	5,2
NOV	5,96	5,54	5,16
DEZ	6,32	5,72	5,25
MÉDIA	**5,01**	5,25	5,2

Fonte: O Autor, baseado nos dados de CRESESB (2018).

Os ângulos ideais para a instalação de painéis fotovoltaicos são determinados pela CRESESB (2018) levando-se em consideração a maior média anual, o maior valor mínimo anual e o ângulo igual à latitude. A definição do ângulo será específica para cada finalidade da instalação e requisitos do projeto.

De acordo com a CRESESB (2018), cada ângulo possui características distintas. O ângulo igual à latitude é utilizado como inclinação do módulo fotovoltaico. O ângulo que proporciona o maior valor médio diário anual de irradiação solar é empregado quando o objetivo é atingir a maior geração anual de energia, sendo recomendado para sistemas fotovoltaicos conectados à rede dentro do Sistema de Compensação de Energia. Já o ângulo que proporciona o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar é indicado em situações em que a continuidade do fornecimento de energia elétrica é crítica para a atividade principal, reduzindo o risco de falta de energia. É importante destacar que esses valores são apenas estimativas baseadas em históricos de medições variáveis e dependem da localidade onde o sistema fotovoltaico será instalado. Neste projeto em específico, utilizaremos os dados da maior média anual disponíveis.

3.2.2 Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos

Considerando o prazo de validade de 60 meses para os créditos excedentes gerados, é importante planejar uma geração de energia suficiente para o consumo mensal. No momento de dimensionar o sistema, é necessário calcular a potência através da equação (1). Para esse cálculo, será adotado o valor de 0,75 como taxa de desempenho do sistema. Essa taxa leva em consideração possíveis perdas no sistema, como a eficiência do inversor, sombreamento nas placas fotovoltaicas e uma possível redução da eficiência do sistema (SILVA; NETO; FERNANDES; BRANCO; GUIMARÃES, 2021).

$$p_{fv} = \frac{E/TD}{I} \qquad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

Pfv representa a potência de pico do sistema fotovoltaico em Watts.

- E é o consumo diário médio da região analisada em Watt-hora por dia.
- TD é a taxa de desempenho do sistema, um valor adimensional.
- Irradiância corresponde à quantidade de energia solar que atinge uma determinada superfície durante um determinado período, expressa em unidades de Wh/m².dia ou kWh/m². dia.

Dessa forma, é possível calcular a quantidade de painéis necessários para a geração de energia suficiente, tirando como base o consumo médio diário (equação (2)), no qual N_{PFV} corresponde a quantidade de painéis necessários.

$$N_{PFV} = \frac{P_{fv}}{P_N} \qquad \text{Eq. (2)}$$

Onde,

N_{PFV} – Representa a quantidade de painéis;

Pfv – Potência de pico do sistema fotovoltaico [W];

P_N – Potência nominal [W].

Posteriormente, é importante efetuar os cálculos para determinar a quantidade de energia produzida pelo sistema fotovoltaico, utilizando a equação (3) proposta por RIBEIRO; FLORIAN; FIGUEIRA (2022).

$$E_{SP} = I \times P_{módulo} \times N_{PFV} \quad \text{Eq. (3)}$$

onde:

E_{SP} – Representa a energia diária gerada sem qualquer tipo de perda, medida em quilowatt-hora por dia (kWh/dia);

$P_{módulo}$- É a potência nominal do módulo solar, expressa em Watts (W).

No entanto é necessário considerar as perdas do sistema. Dessa forma, é necessário realizar o cálculo com a geração de energia esperada e a real, conforme a equação (4).

$$E_{GP} = I \times A_{inst} \times E_f \times (1 - \rho) \quad \text{Eq. (4)}$$

$$E_{GP} = 5{,}01 \times 19{,}4 \times 0{,}152 \times (1 - 0{,}2)$$

$$E_{GP} = 5{,}01 \times 19{,}4 \times 0{,}152 \times 0{,}8$$

$$E_{GP} = 5{,}01 \times 19{,}4 \times 0{,}152 \times 0{,}8$$

$$E_{GP} = 11{,}81\ kWh/dia$$

Onde:

E_{GP}– Energia diária gerada com perdas [kWh/dia];

I - Irradiação [kWh/m²];

A_{inst} – Área total a ser instalada [m²];

E_f – Eficiência do módulo solar [%];

ρ – perda percentual do sistema [%].

3.2.3 Dimensionamento do Inversor

Para a realização do dimensionamento do inversor fotovoltaico, primeiramente, é necessário calcular a tensão total série do sistema, conforme equação 5.

$$V_{ts} = V_{oc} \times N_{ps} \quad \text{Eq. (5)}$$

onde:

V_{ts} – Tensão total série dos painéis [V];

Voc – Tensão de circuito aberto do painel [V];

Nps – Número de módulos fotovoltaicos.

Vale ressaltar que a temperatura interfere no sistema. Dessa forma, é necessário considerar os valores referentes ao coeficiente de temperatura de operação. A equação 6 ilustra o cálculo da Tensão Corrigida por meio da Temperatura (para funcionar a 25^0C) (SILVA, 2023).

$$V_{\Delta T} = V_{ts} \times (1 - \beta \Delta t) \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

$V\Delta t$ – Tensão corrigida pelo efeito da temperatura [V] (SILVA, 2023);

Vts – Tensão total série dos painéis [V] (SILVA, 2023);

β – Coeficiente de temperatura da tensão [mV/célula.ºC] (SILVA, 2023);

Δt – Variação de temperatura possível [ºC] (SILVA, 2023).

O passo seguinte é calcular a corrente máxima que o sistema pode suportar, por meio da equação 7 (RIBEIRO; FLORIAN; FIGUEIRA, 2022).

$$I_{FVMáx} = \frac{Pt_{gerada}}{V_{\Delta T}} \quad \text{Eq. (7)}$$

onde:

$IFVMáx$ – Corrente máxima de entrada [A];

$PTGerada$ – Máxima potência gerada pelo sistema [W];

$V\Delta t$ – Tensão corrigida pelo efeito da temperatura [V].

Por meio dos cálculos realizados, é possível escolher o inversor adequado para o sistema. A tabela 7 ilustra o resultado do dimensionamento do inversor fotovoltaico.

3.2.4 Rendimento Energético

A avaliação de rendimento envolve a correspondência entre a produção real de energia proveniente de um sistema solar e o seu valor teórico calculado. Essa relação resulta em uma porcentagem, que representa a eficiência do sistema. Essa avaliação permite determinar a quantidade de energia que é perdida durante a conversão para

eletricidade, bem como a quantidade de energia real que é fornecida ao sistema. Fabricantes de sistemas solares eficientes geralmente atingem uma média de 80% de eficiência. Utilizando a equação (8), é possível analisar o desempenho de um sistema solar ao longo de um ano (PR).

$$PR = \frac{Rendimento\ real\ do\ sistema\ (^{kWh}/_{ano})}{Rendimento\ nominal\ do\ sistema\ (^{kWh}/_{ano})}\ \% \qquad \text{Eq. (8)}$$

3.2.5 Payback

De maneira geral, o Payback é utilizado como uma ferramenta para demonstrar a viabilidade de projetos que buscam maior economia, através do cálculo do tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Para calcular o payback é necessário aplicar a Equação 8.

$$\text{Tempo de retorno de pagamento} = \frac{I}{c_{economizando}} \qquad \text{Eq. 9}$$

Onde:

$Tempo\ de\ retorno\ de\ pagamento$ [anos];

I – Custo total do investimento do projeto [R$];

$Ceconomizado$ – Valor da energia gerada durante o ano [R$/ano].

Para calcular o *Payback*, primeiramente é necessário obter o $c_{economizando}$, por meio da Equação (9).

$$c_{economizando} = Tarifa \times E \times 365 \qquad \text{Eq.10}$$

Onde:

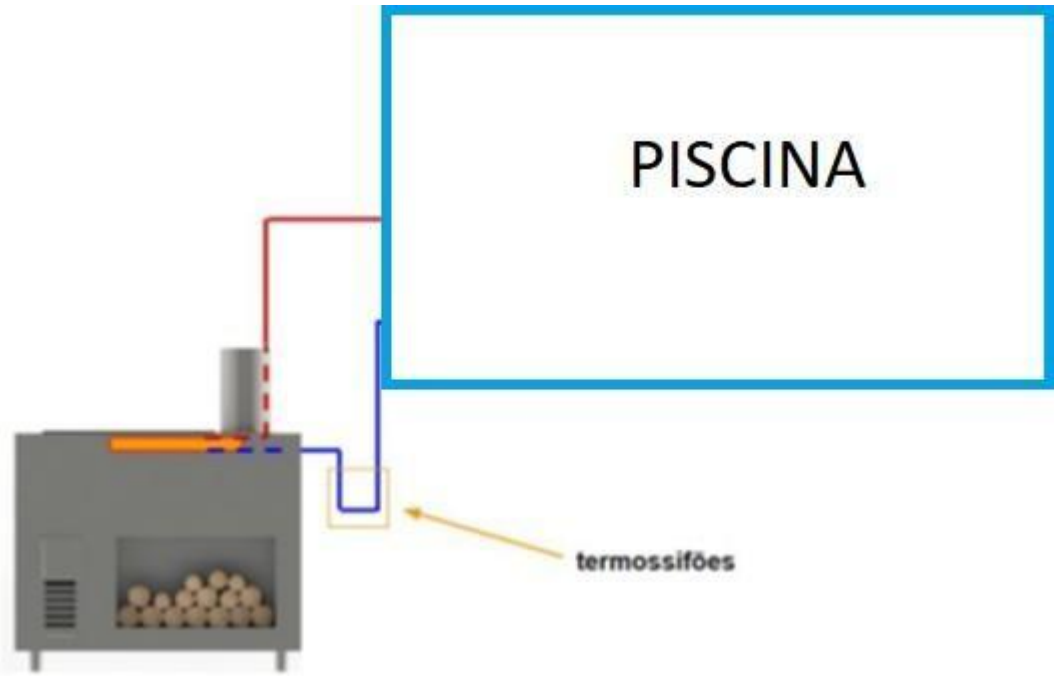
T$arifa$ – Valor correspondente ao kWh;

E – Energia gerada estimada [kWh].

3.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO A LENHA PARA PISCINA

O esquema básico de funcionamento do sistema de aquecimento de água pode ser visualizado na ilustração da Figura 14. Para entender como funciona o presente projeto, é preciso conhecer alguns princípios básicos. Esses princípios incluem a relação de densidade entre a água quente e a água fria, o que é relativamente simples.

Figura 15 - Sistema de aquecimento



Quando o sistema é instalado corretamente (conforme indicado no projeto), com uma diferença de altura adequada entre a caixa d'água, o reservatório térmico e o aparelho de aquecimento (serpentina), a água circula naturalmente. Esse movimento ocorre porque a água está presente em diferentes temperaturas ao longo do sistema. Naturalmente, a água fria é mais densa do que a água quente e, portanto, desce para a parte mais baixa do sistema. À medida que a água é aquecida no aparelho instalado no fogão, ela se desloca naturalmente para o reservatório térmico, que fica acima do fogão. O correto funcionamento do sistema, evitando que a água quente vá até a caixa d'água, é garantido pela presença de termossifões, conforme mostrado na Figura 14.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIAL

Primeiramente, é essencial obter os valores médios de consumo anual, mensal e diário (em Wh) da residência em análise. Essas informações serão utilizadas para calcular a potência máxima do sistema fotovoltaico [Wh], conforme apresentado na equação 1 do capítulo 3. A Tabela 3 apresenta as médias de consumo na região.

Tabela 3 - Consumo energético dos últimos 6 meses da residência em estudo.

MÊS	CONSUMO (KWH)
JANEIRO	200
FEVEREIRO	260
MARÇO	300
ABRIL	320
MAIO	360
JUNHO	360
MÉDIA MENSAL	*300*
MÉDIA DIÁRIA	*9,67741*

Para o cálculo da potência de pico do sistema fotovoltaico, é necessário que aunidade do consumo seja convertida de kWh para Wh/dia, então 9,6741 kWh *x* 1000=9677,41 Wh/dia. Assim, considerando a média diária de 9677,41Wh/dia, a taxade desempenho do sistema de 0,75 e a irradiação solar de 5,01 é possível estimar a potência máxima do sistema fotovoltaico. A Eq. 1 demonstra como calcular a potênciade pico do sistema.

$$p_{fv} = \frac{E/TD}{I}$$

$$p_{fv} = \frac{9677{,}41/0{,}75}{5{,}01}$$

$$p_{fv} = 2575{,}49\ \text{W}$$

A potência obtida foi de $2575{,}49\ W$, dessa forma, foram selecionados alguns painéis solares. Tal seleção foi realizada através da análise entre diversas marcas de

módulos solares, evidenciando os mais utilizados nas residências e a relação custo x benefício. A seleção dos painéis foi determinada considerando o custo e a capacidade de geração de energia de cada um. Painéis das marcas Canadian Solar, Jinko Solar, Trina Solar, REC Solar e Yingli Solar foram analisados, conforme ilustra a Tabela 4. Vale ressaltar que os valores são uma estimativa e dependem da localização geográfica, quantidade de painéis adquiridos e fornecedor.

Tabela 4 - Quadro de referência dos painéis

MARCA	VALOR UNITÁRIO	POTÊNCIA NOMINAL	EFICIÊNCIA	Nº DE MÓDULOS	PREÇO TOTAL
REC SOLAR	$189,13	260	15,8	10	$ 1891,3
CANADIAN SOLAR	$ 213,90	310	16,16	9	$1925.1
CANADIAN SOLAR	$ 217,60	320	16,68		$1958,4
YINGLI SOLAR	$ 187,97	295	15,2	9	$1691,73

Fonte: o autor, baseado nos dados de Mendonça (2016).

Assim, o painel escolhido foi o da marca Yingli Solar. A Tabela 5 ilustra as especificações dos módulos solares escolhidos para o sistema.

Tabela 5 - Dados técnicos do módulo fotovoltaico

Fabricante e modelo	Yingli Solar YL295P-35b
Material	Silício Policristalino
Potência nominal	295 W
Eficiência	15,2 %
Área do Painel	1,94 m²
Peso	25,5 kg
Tensão de Circuito Aberto - V_{oc}	45 V
Coeficiente de Temperatura da Tensão	0,32 %/ºC

Tensão de máxima potência	36,9 V
Potência no Ponto de Máxima Potência	295 W

Desta maneira, é viável determinar a quantidade de painéis requeridos para gerar energia adequada, tomando como referência o consumo diário médio apresentado na equação 2 presente no capítulo 3 desta dissertação, em que $NPFV$ representa a quantidade de painéis necessários. Assim, com o resultado da potência máxima do sistema fotovoltaico (Pfv = 2575,49) e a potência nominal ou potência no ponto de máxima potência (PN = 295), é possível calcular a quantidade de painéis pela Eq. 2.

$$N_{PFV} = \frac{P_{fv}}{P_N}$$

$$N_{PFV} = \frac{2575{,}49\ W}{295}$$

$$N_{PFV} = 8{,}73\ painéis$$

O valor inicialmente obtido foi de 8,73 ≅ 9 painéis solares necessários para suprir a demanda energética do consumidor. No entanto, é importante considerar o desgaste natural dos módulos fotovoltaicos ao longo do tempo. Para isso, a Yingli Solar estabelece uma vida útil de 25 anos, com uma perda máxima de eficiência de 25%. Com base nisso, é preciso projetar um sistema que seja capaz de fornecer a energia necessária mesmo ao final da vida útil dos painéis solares. Para garantir a continuidade do abastecimento energético, é importante que o sistema ainda seja capaz de entregar a mesma potência calculada na Eq.1.

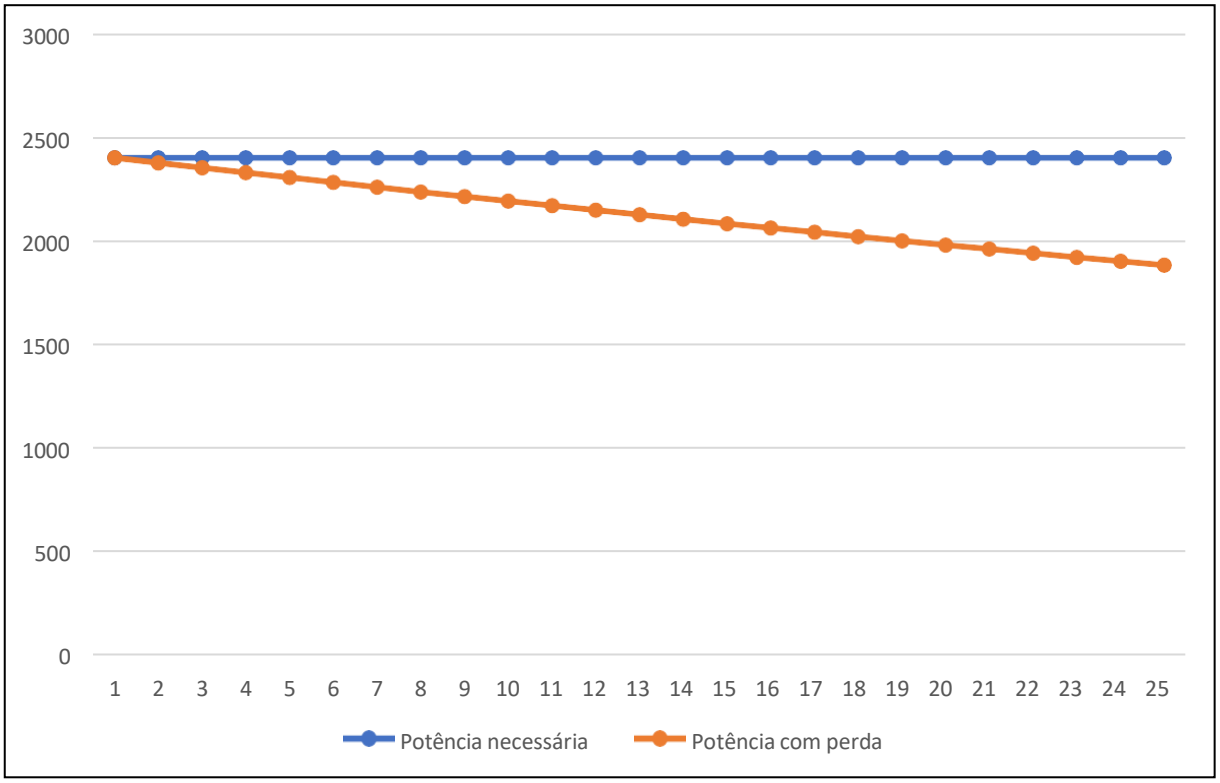
Isso significa que serão considerados os efeitos da degradação dos painéis solares ao longo dos anos de uso. Com uma perda máxima de eficiência de 25%, é necessário levar em conta essa redução na capacidade de geração de energia ao planejar o sistema. Além disso, é importante notar que os painéis solares não são os únicos componentes do sistema fotovoltaico. Será necessário considerar também os inversores, que convertem a energia produzida pelos painéis em corrente alternada utilizável pelo consumidor. Esses inversores também têm uma vida útil determinada e

podem apresentar desgaste ao longo do tempo, afetando a eficiência do sistema como um todo.

Portanto, no projeto do sistema, será indispensável contemplar não apenas a quantidade inicial de painéis solares necessários para atender a demanda do consumidor, mas também considerar a degradação desses painéis ao longo dos 25 anos de vida útil, bem como possíveis impactos na eficiência dos inversores.

Assim, foi estabelecida, graficamente, uma média das possíveis perdas. A Figura 16 ilustra o gráfico com a potência necessária constante e a curva de perda ao longo dos 25 anos.

Figura 16 - Simulação da potência necessária e da perda anual ao passar dos 25 anos, utilizando 9 módulos



As Figuras 16 e 17 foram realizadas por meio do software Excel. Percebe-se que a energia de 2575,49 W diminui constantemente durante os 25 anos. Dessa forma, fica inviável para o sistema cumprir as necessidades dos usuários. Uma excelente estratégia seria aumentar a quantidade dos módulos fotovoltaicos, ao invésde utilizar 9 painéis, pode aumentar mais um, totalizando 10 painéis, e a potência

gerada para abastecer o cliente por mais tempo. Utilizando a Eq. 2, é possível obter a potência gerada com 10 painéis.

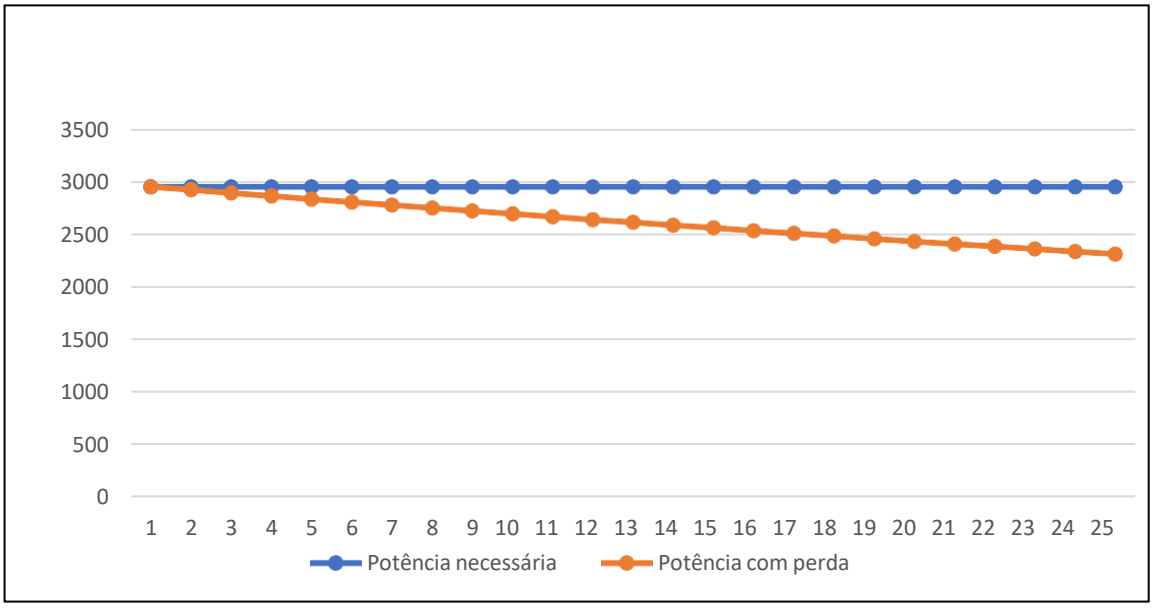
$$N_{PFV} = \frac{P_{fv}}{P_N}$$

$$10 = \frac{P_{fv}}{295}$$

$$P_{fv} = 2950W$$

O valor da potência calculado foi de 2950W. A Figura 17 ilustra o gráfico que demonstra a perda de potência com o passar dos anos.

Figura 17 - Simulação da potência necessária e da perda anual ao passar dos 25 anos, utilizando 10 módulos.



Ao analisar as Figuras 16 e 17, é possível notar que, ao final dos 25 anos, a diferença de potência mensal gerada é de aproximadamente 500W. Também é relevante mencionar que, durante os 18 anos, há um excedente de potência gerada.

Esse excesso de energia é injetado na rede elétrica da concessionária e o gerador é compensado por meio de créditos acumulados. Após essa etapa, é necessário realizar os cálculos para estimar a quantidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico. A equação 3 proposta por RIBEIRO; FLORIAN; FIGUEIRA (2022) está devidamente explicada no capítulo 3 desta dissertação. Assim, com a

irradiância solar (I), Potência do modulo ($Pmódulo$) e número dos painéis fotovoltaicos ($NPFV$) é possível calcular a quantidade de energia gerada pelo sistema Eq. 3:

$$E_{SP} = \mathrm{I} \times P_{módulo} \times N_{PFV}$$
$$E_{SP} = 5{,}01 \times 295 \times 10$$
$$E_{SP} = 14{,}47\ kWh/dia$$

No entanto, essa energia gerada de 14,47 $\underline{kWh}$ não leva em consideração as dia perdas do sistema. Nesse caso, seria necessário realizar o cálculo com a geração de energia esperada e a real, conforme a Eq. 4 explicada no capítulo 3 desta dissertação. Assim, para realizar o cálculo da energia gerada considerando as perdas é necessário ter o valor da irradiação (I=5,01), Área total do sistema ($Ainst$ = 19,4 m^2), Eficiência do módulo (F=15.2%) e perda percentual do sistema (ρ =20%). Tais dados estão disponíveis na Tabela 5.

$$E_{GP} = I \times A_{inst} \times E_f \times (1 - \rho)$$
$$E_{GP} = 5{,}01 \times 19{,}4 \times 0{,}152 \times (1 - 0{,}2)$$
$$E_{GP} = 5{,}01 \times 19{,}4 \times 0{,}152 \times 0{,}8$$
$$E_{GP} = 5{,}01 \times 19{,}4 \times 0{,}152 \times 0{,}8$$
$$E_{GP} = 11{,}81\ kWh/dia$$

Ao desenvolver um projeto fotovoltaico, é necessário que o projetista leve em conta as perdas do sistema, já que elas têm um impacto negativo na avaliação da viabilidade dele. Os resultados do dimensionamento efetuado neste estudo podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 - Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos.

Energia sem perdas	14,47 kWh/dia
Energia com perdas	11,81 kWh/dia
Número de painéis adequado para o sistema	10 painéis

Área	19,4m²
Peso	255 kg

Por meio dos cálculos realizados nesta seção, é possível realizar o dimensionamento do inversor adequado para o sistema solar.

4.2 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA O MOTOR DA PISCINA

Na residência terá uma piscina de 12 m³ de água. Dessa forma, foi escolhido uma bomba de 2 cv (1,48 kW). As características da bomba, são:

- Potência: 2 cv;
- Tensão: 220V/380V;
- Sucção (Entrada) / Recalque (Saída): 50 mm (Soldável);
- Vazão máxima: 18,8 m³/h para 6 mca;
- Vazão mínima: 7,3 m³/h para 20 mca;
- Motor: Hércules (IP21);
- Rotação: 3.500 rpm (2 Polos);
- Rotor: Noryl (Tipo fechado);
- Carcaça: ABS;
- Temperatura máxima permitida: 80°C.

Essa bomba será alimentada por meio da energia solar fotovoltaica. Dessa forma, primeiramente será calculada a potência de pico do sistema fotovoltaico [kWh] e em seguida a quantidade de painéis necessários para abastecer essa bomba. Conforme a Eq. 1 e Eq. 2 do capítulo 3 da presente dissertação.

$$p_{fv} = \frac{E/TD}{I}$$

$$p_{fv} = \frac{1480/0{,}75}{5{,}01}$$

$$p_{fv} = 393{,}87\ W$$

Será mantida as placas da Yingli Solar modelo YL295P-35b (Quadro 4). Com o valor da potência de pico estabelecida (393,87 W), agora será calculada a quantidade de placas para o sistema.

$$N_{PFV} = \frac{P_{fv}}{P_N}$$

$$N_{PFV} = \frac{393{,}87\ W}{295}$$

$$N_{PFV} = 1{,}33\ placas\ solares$$

Assim, 2 placas solares seriam suficientes para abastecer a bomba da piscina.

4.3 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR ADEQUADO PARA O SISTEMA SOLAR

Para realizar o dimensionamento do inversor fotovoltaico, é essencial começar calculando a tensão total série do sistema. Essa tensão total é obtida através da soma das tensões de todos os painéis solares conectados em série. Assim, a Eq. 5 é utilizada para calcular essa tensão total série. Esta equação considera fatores como a tensão nominal do painel e o número de painéis conectados em série. No entanto, é importante ressaltar que a equação pode variar dependendo do projeto e das características específicas dos componentes utilizados (SILVA, 2023).

Além disso, ao realizar o dimensionamento do inversor fotovoltaico, é fundamental considerar outras informações relevantes do sistema. Isso inclui a corrente de curto-circuito do painel solar, a temperatura de operação dos painéis, a eficiência do inversor e a potência máxima de saída do inversor. Esses dados são essenciais para garantir o bom funcionamento do sistema e a máxima eficiência na conversão de energia solar em energia elétrica.

$$V_{ts} = V_{oc} \times N_{ps}$$

$$V_{ts} = 45 \times 10$$

$$V_{ts} = 450\ V$$

Onde:

V_{ts} – Tensão total série dos painéis [V] (SILVA, 2023);

Voc – Tensão de circuito aberto do painel [V] (SILVA, 2023);
Nps – Número de módulos fotovoltaicos (SILVA, 2023).

Vale ressaltar que a temperatura interfere no sistema. Dessa forma, é necessário considerar os valores referentes ao coeficiente de temperatura de operação, como $\beta = \frac{2{,}3mV}{célula\ ºC}$ e $\Delta t = 47$ºC, respectivamente. A Eq. 6 ilustra o cálculo

da Tensão Corrigida por meio da Temperatura (para funcionar a 25^0C) (SILVA, 2023).

$$V_{\Delta T} = V_{ts} \times (1 - \beta \Delta t)$$
$$V_{\Delta T} = 450 \times (1 - 0{,}0023 \times [47 - 25])$$
$$V_{\Delta T} = 450 \times (1 - 0{,}0023 \times 22)$$
$$V_{\Delta T} = 450 \times (1 - 0{,}0506)$$
$$V_{\Delta T} = 450 \times 0{,}9494$$
$$V_{\Delta T} = 427{,}23\,V$$

Onde:
$V\Delta t$ – Tensão corrigida pelo efeito da temperatura [V] (SILVA, 2023);
Vts – Tensão total série dos painéis [V] (SILVA, 2023);
β – Coeficiente de temperatura da tensão [mV/célula.ºC] (SILVA, 2023);
Δt – Variação de temperatura possível [ºC] (SILVA, 2023).

O passo seguinte é calcular a corrente máxima que o sistema pode suportar, por meio da Eq. 7 (SILVA, 2023).

$$I_{FVMáx} = \frac{Pt_{gerada}}{V_{\Delta T}}$$
$$I_{FVMáx} = \frac{2950}{427{,}23}$$
$$I_{FVMáx} = 6{,}90A$$

Onde:
$IFVMáx$ – Corrente máxima de entrada [A];

$PTGerada$ – Máxima potência gerada pelo sistema [W];
$V\Delta t$ – Tensão corrigida pelo efeito da temperatura [V].

Por meio dos cálculos realizados, é possível escolher o inversor adequado para o sistema. A Tabela 7 ilustra o resultado do dimensionamento do inversor fotovoltaico.

Tabela 7 - Dimensionamento do inversor.

Tensão total série dos painéis	450 V
Tensão corrigida	427,23V
Potência total do sistema	2950W
Corrente máxima	6,90 A

Com esses resultados, o inversor escolhido foi o **Inversor Solar Grid-Tie B&B Moso SF5000TL**, que é capaz de suportar uma potência máxima de 5000W, uma tensão CC de 500V e uma corrente máxima de 15A. A imagem do inversor utilizado é mostrada na Figura 15 a seguir:

Figura 18 - Inversor Solar Grid-Tie B&B Moso SF5000TL.

Fonte: Silva (2023).

4.4 ESTIMATIVA DE CUSTO

Para viabilizar o orçamento e a estimativa de custos para a implementação de um sistema fotovoltaico em Echaporã/SP, conduziu-se uma pesquisa minuciosa sobre os preços de mercado dos painéis solares e inversores, assim como os custos associados à instalação e manutenção dos painéis. Além desses dispêndios, é imperativo considerar o valor do projeto elétrico, a conexão com a rede elétrica, a instalação do painel de proteção, e os custos inerentes à Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) emitida pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA). Na Tabela 4, estão detalhadas as taxas correspondentes a esses serviços.

Tabela 8 - Média dos custos para a execução do projeto.

SUPORTE PARA FIXAÇÃO DOS PAINÉIS	R$100
PROJETO ELÉTRICO E ENCARGOS	20% do valor (painéis + inversor)
INTERLIGAÇÃO COM A REDE	2% do valor (painéis + inversor)
PAINEL DE PROTEÇÃO	2,5% do valor (painéis + inversor)
INSTALAÇÃO ELÉTRICA DOS PAINÉIS	16,4% do valor (painéis + inversor)
ART	40% do valor (painéis + inversor)

Fonte: Extraído de Silva (2023).

4.5 INVESTIMENTO TOTAL DO SISTEMA SOLAR

O presente sistema contará com 12 placas solares, sendo 10 para abastecer a residência e 2 para abastecer a bomba da piscina. Baseado na Tabela 8, foi possível determinar o valor do investimento do projeto proposto, considerando o valor unitário do módulo FV Yingli Solar YL295P-35b $187,97 ou R$949,12, totalizandoR$11.389,44 (YINGLI SOLAR, 2017). A Tabela 9 ilustra os equipamentos e serviços necessários para a instalação dos painéis com seus respectivos custos.

Tabela 9 - Média de valor para a execução do projeto.

EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS	CUSTO
MÓDULO FV YINGLI SOLAR YL295P-35B	R$11.389,44
INVERSOR SOLAR GRID-TIE B&B MOSO SF5000TL	R$8.776,69
SUPORTE PARA FIXAÇÃO DOS PAINÉIS	R$1.000

PROJETO ELÉTRICO, ENCARGOS DA EMPRESA E ART	R$12.099,67
INTERLIGAÇÃO COM A REDE EXISTENTE (MEDIDOR BIDIRECIONAL)	R$806
PAINEL DE PROTEÇÃO	R$403
INSTALAÇÃO ELÉTRICA DOS PAINÉIS	R$3307,24
TOTAL R$$\mathbf{37781,37}$	

De maneira geral, o *Payback* é utilizado como uma ferramenta para demonstrara viabilidade de projetos que buscam maior economia, através do cálculo do tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Para calcular o *payback* é necessárioaplicar a Eq. 9.

Para calcular o *Payback*, primeiramente é necessário obter o $c_{economizando}$, por meio da Eq. 10.

Após analisar as faturas de energia elétrica da Energisa, foi possível estabelecer uma média correspondente ao kWh pago, sendo R$1,01 o resultado obtido por kWh. Assim, por meio da Eq. 9, é possível calcular o valor da energia gerada com e sem perdas durante o período de 365 dias (SILVA, 2023).

$$c_{economizando}sem\ perdas = Tarifa \times E \times 365$$

$$c_{economizando}sem\ perdas = 1{,}01 \times 14{,}47 \times 365$$

$$c_{economizando}sem\ perdas = R\$5334{,}36/ano$$

$$c_{economizando}com\ perdas = Tarifa \times E \times 365$$

$$c_{economizando}com\ perdas = 1{,}01 \times 11{,}81 \times 365$$

$$c_{economizando}com\ perdas = R\$4353{,}75/\ ano$$

Dessa forma, é possível calcular o *Payback* com e sem perdas.

$$Payback_{sem\ perdas} = \frac{\mathbf{38.379,9}}{5334{,}36}$$

$$Payback_{sem\ perdas} = 7\ anos$$

$$Payback_{com\ perdas} = \frac{\mathbf{38.379,9}}{4353,75}$$

$$Payback_{com\ perdas} = 8\ anos\ e\ 8\ meses$$

4.6 DIMENSIONAMENTO DO FOGÃO PARA AQUECIMENTO DA PISCINA

A piscina possui 2,5m de largura por 3m de comprimento, 1,10m de profundidade e possui capacidade para 12 m³ ou 12.000.000 cm^3 de água, considerando que um quilo igual a um litro (1000 cm^3), resulta em 12.000.000g. A temperatura ambiente da água é de 36 ºC e deseja-se que aqueça em 27ºC, em um período de 20h. A seguir, o passo a passo necessário para o dimensionamento do forno.

4.6.1 Quantidade Necessária de Calor

A energia Q que entra na água é fornecida, por convecção e por radiação, pelos gases de combustão que escoam sobre a serpentina. Ao armazenar esta energia, ocorre uma variação de temperatura da água com o tempo, de tal forma que a Eq. 11 com:

$$Q = \frac{m \times c \times \mathbf{\Delta T}}{t}$$

Em que:

m = massa da água (g) = 12000000g
c = calor específico da água = 1 cal/g. ºC
ΔT = variação de temperatura (ºC) = 36ºC – 27ºC = 9°C.
t= tempo (h) = 20 h.

$$Q = \frac{m \times c \times \mathbf{\Delta T}}{t}$$

$$Q = \frac{12.000.000 \times 1 \times 9}{20}$$

$$\boldsymbol{Q = 5400\ kcal/h}$$

Assim, para que a água da piscina sofra uma variação de 9ºC em 20 horas, é necessário receber 5400 kcal/h de calor. Para isso, o forno deverá fornecer 5400 kcal/h.

Um fogão a lenha pode produzir 5400 kcal/h através da queima de lenha. Essa energia térmica pode ser usada para aquecer a água de uma piscina através de uma serpentina. Assim, será projetado um fogão a lenha com uma capacidade de calor igual ou superior a 5400 kcal/h.

4.6.2 Vazão

Para calcular a vazão, é necessário saber o volume da piscina (12m³) e a taxa de aquecimento por hora. Assim, como deseja-se aquecer 9°C em 20 horas, então o sistema terá capacidade de aquecer 1,5 °C a cada 3h e 19 min.

A Eq. 12 para calcular a vazão necessária é a seguinte:

$$V = \frac{Volume}{Tempo}$$

$$V = \frac{12}{3{,}19}$$

$$V = 3{,}76\ m^3/h$$

Portanto, a vazão necessária para aquecer essa piscina de 12 m³ em 1,5°C por hora seria de 3,76 m³/h.

4.6.3 Projeto do Forno

A Figura 16 apresenta a maquete do projeto em estudo, onde o sistema solar será utilizado para fornecer energia à residência e ao motor da piscina. Além disso, está prevista a inclusão de um fogão a lenha, responsável por aquecer a água da piscina. Para tanto, serão instaladas duas serpentinas no fogão, e por meio de duas bombas de potência de dois cv, haverá o movimento de água pelas serpentinas. Essa circulação permitirá que a piscina seja aquecida, mantendo uma distância em ângulo de 20 metros de cada lado. O motor das bombas será alimentado por energia solar e todo o sistema será monitorado pelo microcontrolador Arduino.

Figura 19 - Maquete da residência

Antes de começar a desenvolver uma alternativa, é necessário determinar alguns requisitos que o projeto precisa atender em relação ao fogão a lenha. Esses requisitos são baseados na problemática e no estudo da coleta de dados, com o objetivo de identificar os principais aspectos relacionados ao objetivo geral do projeto. Esses requisitos envolvem a conversão das necessidades em quatro pontos principais, que estão organizados na Tabela 10.

Tabela 10 - Requisitos

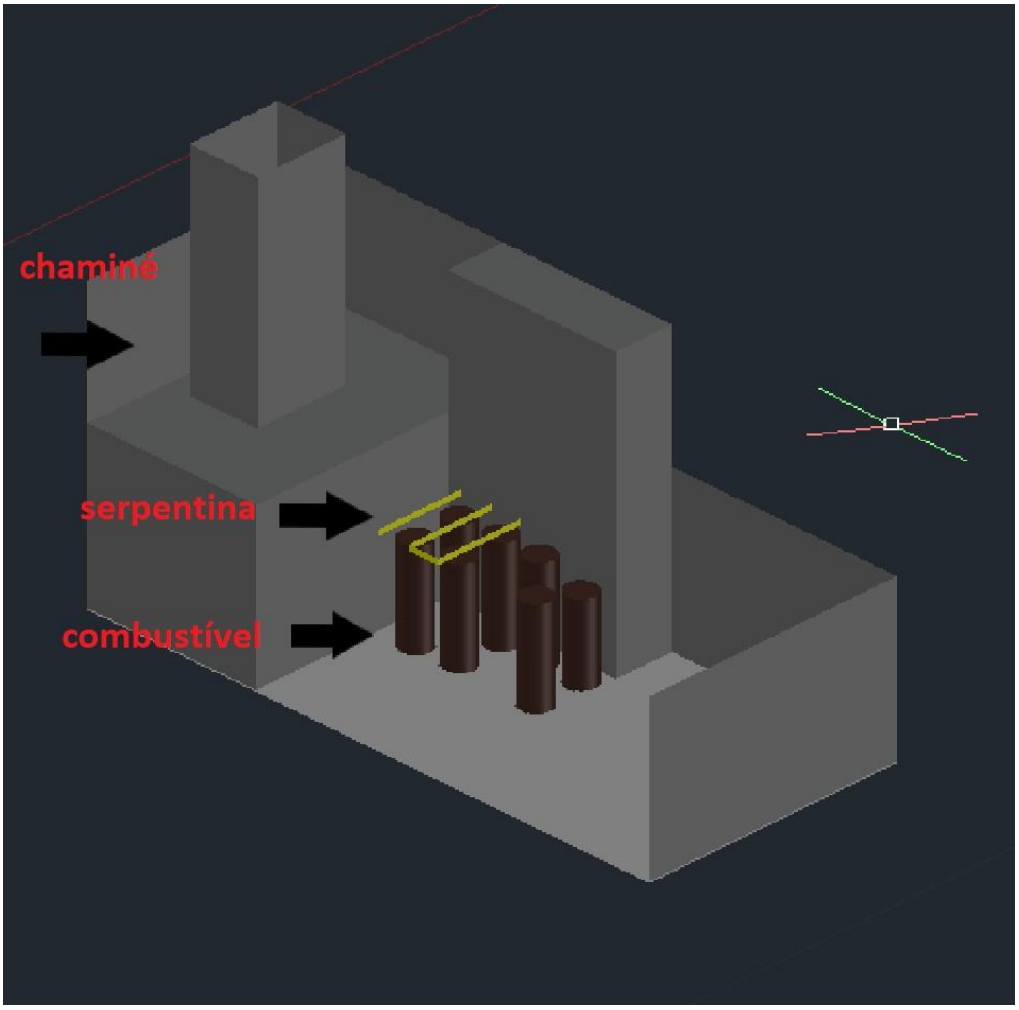
REDUÇÃO DOS GASES NOCIVOS	PERMITIR O USO DE UMA ÁREA OU SAÍDA DE CHAMINÉ REDUZIDA ACIMA DO COMPARTIMENTO DE COMBUSTÃO.
SISTEMA DE AQUECIMENTO	Capacitar a regulação e adaptação da entrada de ar na câmara. Instalar o dispositivo de serpentinas ou aquecedor de água logo após a chaminé curta da câmara de combustão.

A alternativa propõe uma condição ideal de funcionamento em que o oxigênio seja totalmente introduzido por uma abertura localizada na parte inferior da câmara (Figura 17), abaixo da grelha. Essa proporção dimensional deve ser mantida ao longo de toda a área de fluxo, garantindo o fluxo adequado para a completa queima do combustível. A inserção do combustível, seja lenha, briquetes ou toras de madeira, deve ocorrer imediatamente acima da gaveta de cinzas.

A área de inserção do combustível deve ser mantida fechada, o que permitirá a passagem de ar apenas através da abertura desejada, localizada na parte inferior da câmara, e evitará a emissão de fumaça no ambiente.

Em um fogão a lenha, a serpentina pode ser colocada na parte superior do forno, próximo à saída de fumaça. Isso permitirá que os gases quentes sejam direcionados para a serpentina, aquecendo a água ou o fluido que circula dentro dela para aquecimento ou aproveitamento de energia.

Figura 20 - Fogão a lenha



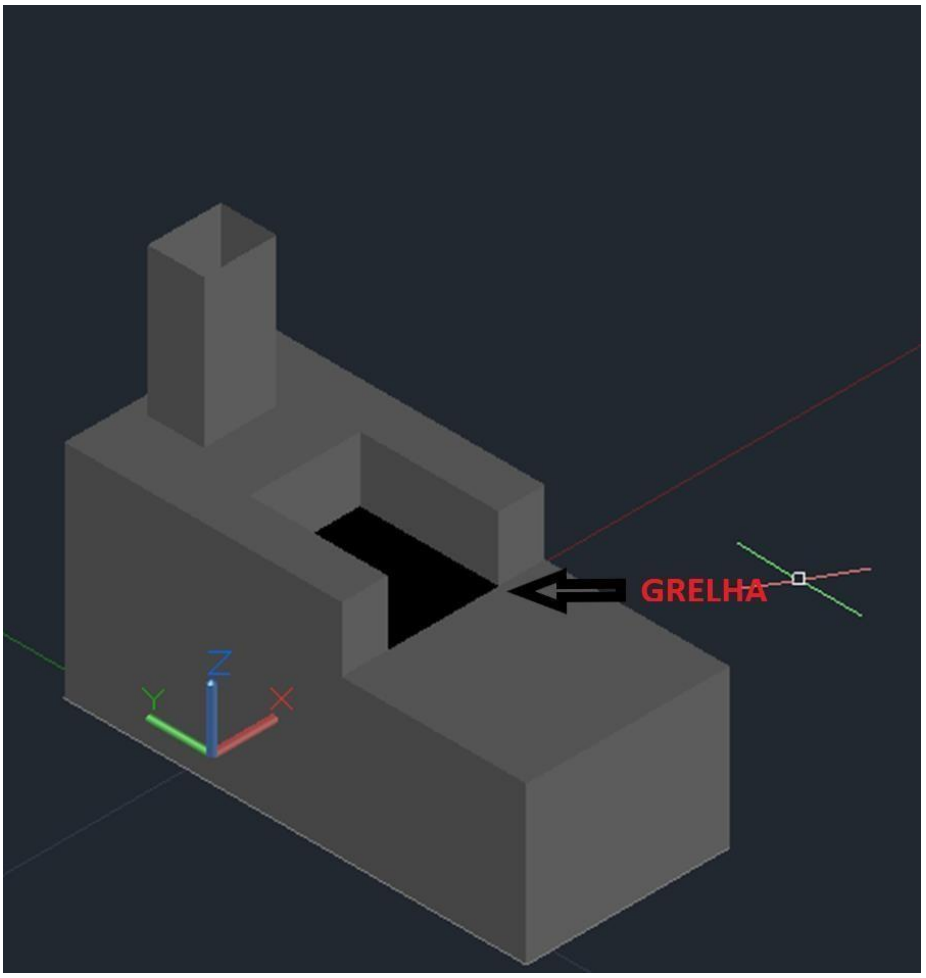
De acordo com Almeida Júnior (2017), uma maneira eficiente de reduzir as emissões de gases é por meio do uso de chaminés curtas, posicionadas logo acima do fogo. Essa técnica permite que a fumaça e o ar se misturem ao fogo, o que resulta na diminuição das emissões. Já existem fogões que utilizam essa estratégia, proporcionando uma queima mais limpa e menos poluente. Outra forma de reduzir as emissões é limitar a entrada de ar frio no fogo. Isso pode ser feito através de um controle na abertura da entrada de ar. Quanto menor for essa abertura, menos ar frio entrará, obrigando o usuário a utilizar menos lenha. Isso resulta em uma maior eficiência no uso do combustível, contribuindo para a redução das emissões.

É importante ressaltar que a combustão completa requer uma quantidade adequada de ar. Para manter uma queima limpa, é recomendável utilizar um ar pré-aquecido. Esse processo auxilia na diminuição das emissões de gases, pois favorece uma queima mais eficiente e completa. Além dessas medidas específicas, medidas

gerais também podem ser adotadas para reduzir as emissões de gases. Por exemplo, é fundamental utilizar lenha seca e bem armazenada, pois lenhas úmidas aumentam a emissão de gases poluentes. Da mesma forma, a manutenção regular do fogão e a limpeza periódica da chaminé também são importantes para garantir o bom funcionamento e a redução das emissões.

A altura da chaminé curta, na área de combustão, deve ser suficiente para aspirar os gases quentes e promover uma queima intensa. No modelo final, aaplicação de uma camada de isolamento térmico em toda a área de combustão terá um papel importante no funcionamento do sistema, aumentando a temperatura dentro da câmara, melhorando a eficiência da queima e maximizando a utilização do calor gerado. A figura 18 ilustra o fogão a lenha com a grelha.

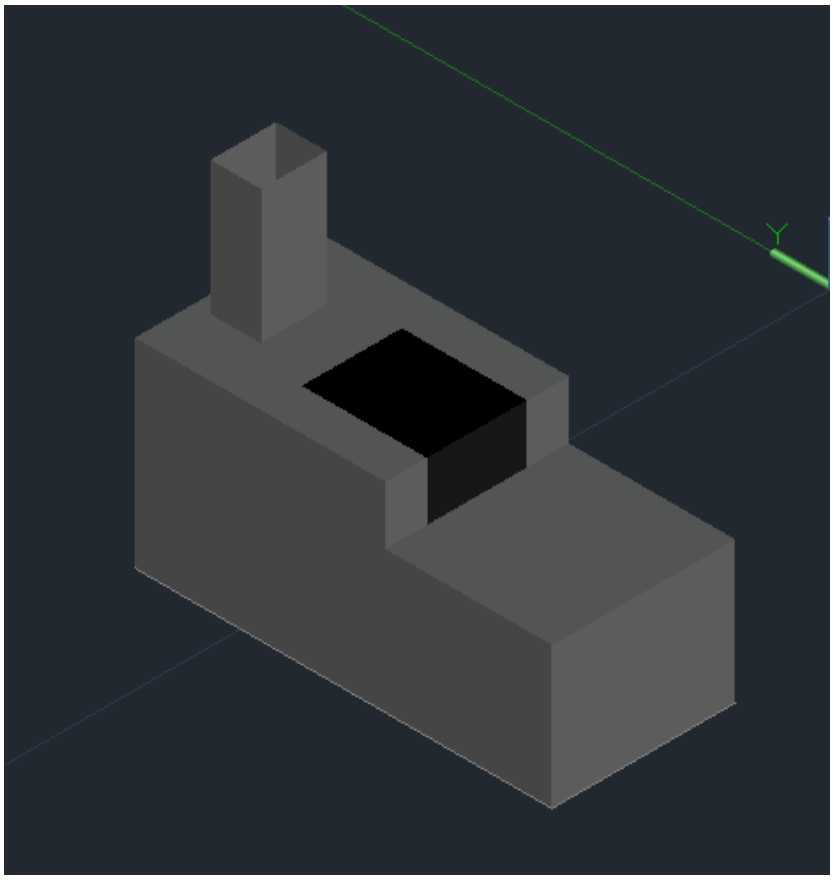
Figura 21 - Fogão com a grelha.



A utilização de um fogão a lenha pode ser uma maneira eficiente de amenizar a emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente. Isso ocorre devido à sua capacidade de queima completa, garantindo uma redução significativa da quantidade de fumaça liberada pela chaminé. Ao garantir a correta proporção de ar aspirado pela entrada de oxigênio frontal, o fogão a lenha possibilita uma combustão mais completa da lenha, resultando em uma diminuição das emissões de gases poluentes. Essa condição de queima completa é importante para controlar a quantidade de fumaça liberada, uma vez que a fumaça é composta principalmente por gases tóxicos. Com a instalação correta do fogão a lenha e a utilização adequada da entrada de oxigênio, é possível minimizar drasticamente a liberação de gases e fumaça para o ambiente. Isso torna o fogão a lenha uma opção mais sustentável e amigável ao meio ambiente em comparação com outras formas de aquecimento, como o uso de gás natural ou eletricidade.

O fogão a lenha foi projetado conforme a Figura 19. As medidas do projefo ficaram conforme ilustra os apêndices 1 e 2.

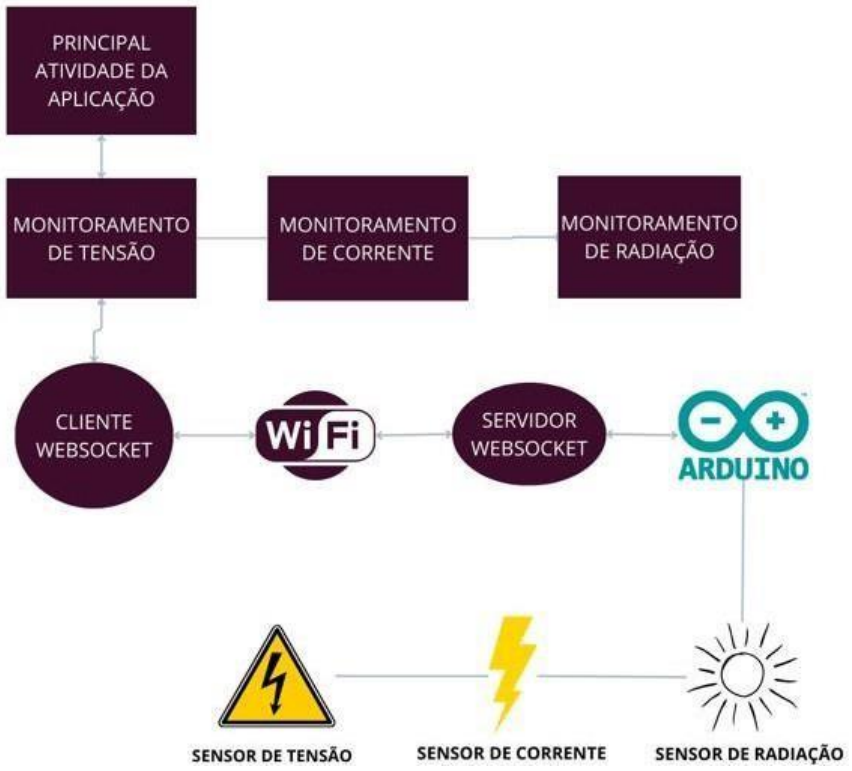
Figura 22- Final - Fogão a lenha



4.7 SISTEMA DE MONITORAMENTO

O sistema de aquisição de dados e monitoramento tem o objetivo de utilizar tecnologias acessíveis e de baixo custo em comparação com os sistemas de supervisão e *dataloggers* disponíveis no mercado. Para tornar esse sistema viável, foi escolhida a plataforma de desenvolvimento Arduino ATMega 2560, que é um microcontrolador com vários periféricos adicionais que facilitam a programação. Esse tipo de microprocessador é uma plataforma *open-source* para prototipagem, possuindo um software flexível e de fácil utilização, compatível com várias plataformas. No entanto, ao contrário de outras placas Arduino, essa placa não possui recursos de rede integrados. Portanto, será necessário adicionar uma placa de rede *Ethernet* para facilitar a comunicação e permitir o acesso remoto via Wi-Fi. Além disso, a placa também possui uma entrada para cartão micro SD, que é utilizada para aquisição de dados. Neste projeto, o Arduino atua como um servidor web, enviando os valores lidos de cada sensor para todos os clientes conectados. Isso é ilustrado na Figura 23.

Figura 23- Fluxograma do sistema de monitoramento.



O estudo apresentado está associado ao monitoramento remoto através de um aplicativo Android para verificar a produção de energia elétrica a partir de um módulo FV. O aplicativo apresenta dados em tempo real das leituras feitas pelos sensores em comunicação com o microcontrolador Arduino Mega. O sistema de monitoramento permite obter os dados de tensão e corrente gerados pelo sistema fotovoltaico, além do índice de espectro UV (no aplicativo aparece como radiação). O aplicativo permite visualizar os gráficos de cada variável de forma independente. Isso porque ele é desenvolvido para o usuário ter acesso à variável escolhida ao enviar um comando, apertando um botão.

Este sistema tem a funcionalidade de enviar notificações para o usuário, informando-o sobre qualquer problema ou irregularidade no sistema de geração de energia. Por exemplo, caso a tensão ou a corrente estejam baixas, ou se houver variações bruscas nos valores, o usuário será imediatamente informado pelo aplicativo. Essa função de notificação é especialmente útil para os moradores que estão ausentes de suas residências. Eles podem monitorar o funcionamento do

sistema fotovoltaico mesmo de longe, recebendo alertas em tempo real caso algo não esteja certo. Dessa forma, eles podem tomar medidas rápidas para solucionar qualquer problema e garantir a eficiência do sistema. Outra vantagem desse sistema de monitoramento é a possibilidade de análise de dados e histórico de desempenho do sistema. O aplicativo armazena todas as leituras realizadas pelos sensores, permitindo ao morador acompanhar as variações de produção de energia ao longo do tempo. Com base nesses registros, é possível identificar padrões de consumo e melhorar a eficiência energética da residência.

5 CONCLUSÃO

Para o sistema solar da residência, a energia diária gerada sem perdas no sistema é de 14,47 kWh/dia. Isso significa que, em um dia, é possível obter essa quantidade de energia de forma eficiente, sem levar em consideração as perdas do sistema. No entanto, ao considerar as perdas, a energia diária gerada é reduzida para 11,81 kWh/dia. Essas perdas podem ocorrer devido a fatores como a qualidade dos painéis solares, o ângulo de incidência da luz solar e possíveis obstáculos que possam bloquear a luz. Para atingir essa geração de energia, é necessário um total de 10 painéis solares. Essa quantidade é adequada para satisfazer a demanda energética diária e é determinada de acordo com a potência e a eficiência de cada painel. A área ocupada pelos painéis solares é de 19,4m². Isso significa que essa extensão de espaço é necessária para a instalação dos painéis e sua correta disposição, a fim de captar a maior quantidade de luz solar possível.

A fim de garantir o fornecimento de energia para o motor da piscina, são necessárias duas placas solares. Após considerações e análises, o inversor selecionado para o sistema foi o Inversor Solar Grid-Tie SF5000TL por suprir a necessidade do sistema proposto.

A proposta de utilização de um fogão a lenha com a correta introdução de oxigênio e a queima completa do combustível é uma alternativa eficiente para reduzir a emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente. A manutenção da proporção dimensional ao longo da área de fluxo, a inserção do combustível acima da gaveta de cinzas e a altura adequada da chaminé são elementos essenciais para garantir uma queima intensa e completa. Além disso, a aplicação de isolamento térmico na área de combustão contribui para aumentar a eficiência da queima e maximizar a utilização do calor gerado. Ao adotar essa abordagem, é possível minimizar drasticamente a liberação de gases e fumaça, tornando o fogão a lenha uma opção que pode ser mais sustentável e amigável ao meio ambiente em comparação com outras formas de aquecimento.

6ESTUDOS FUTUROS

A seção 4.7 deste estudo apresenta um sistema de monitoramento dos painéis fotovoltaicos que visa proporcionar ao usuário um maior controle sobre o sistema de geração de energia. Esse sistema possui uma funcionalidade importante, que consiste em enviar notificações ao usuário, alertando-o sobre possíveis problemas ou irregularidades no funcionamento do sistema. Além dessa importante função de alerta, o sistema também oferece ao usuário a possibilidade de análise de dados e acesso ao histórico de desempenho do sistema. Essas funcionalidades são extremamente úteis para que o usuário possa obter informações precisas e detalhadas sobre o funcionamento do sistema ao longo do tempo, permitindo uma melhor compreensão do seu desempenho e possíveis melhorias.

Seguem as sugestões para o desenvolvimento do sistema:

O desenvolvimento de um circuito utilizando o microcontrolador Arduino ATMega 2560 para aquisição de dados de tensão e corrente gerados pelo sistema fotovoltaico é uma etapa essencial para o monitoramento eficiente desse sistema. A utilização de sensores adequados garantirá medições precisas e confiáveis. Além disso, a integração de uma placa de rede Ethernet ao circuito possibilitará a comunicação e acesso remoto via Wi-Fi. Isso permitirá que os dados coletados sejam enviados para um servidor ou aplicativo específico, facilitando o monitoramento em tempo real.

Para proporcionar uma interface de usuário intuitiva, recomenda-se implementar um aplicativo móvel que receberá os dados enviados pelo sistema de monitoramento. Os dados podem ser exibidos em gráficos separados para cada variável, tornando a visualização mais clara e facilitando a análise. O usuário poderá selecionar a variável desejada por meio de um botão, tornando a interação mais simples e prática.

A configuração de um cartão micro SD permitirá a aquisição de dados, independentemente do aplicativo móvel. Isso possibilitará que os dados coletados sejam armazenados no cartão, criando um histórico de medições acessível ao usuário.

É importante realizar testes e validação do sistema desenvolvido para garantir a precisão das medições e a eficiência da comunicação entre os dispositivos. Essa

etapa é fundamental para assegurar o bom funcionamento do sistema de aquisição de dados. Dessa forma, é necessário avaliar a viabilidade econômica e a escalabilidade do sistema. Serão analisados os custos envolvidos na implementação do sistema proposto, bem como seu potencial de expansão para outros sistemas fotovoltaicos. Essa análise permitirá identificar se o sistema é acessível e se possui capacidade de se adaptar a diferentes cenários.

Espera-se que, por meio deste estudo, seja possível desenvolver um sistema de aquisição de dados e monitoramento acessível e de baixo custo, utilizando a plataforma Arduino ATMega 2560. Além disso, busca-se fornecer ao usuário uma interface amigável para visualização dos dados coletados, permitindo que ele tenha um melhor controle e compreensão do seu sistema fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

AKYOL, Kemal. A comprehensive comparison study of traditional classifiers and deep neural networks for forest fire detection. **Cluster Computing**, p. 1-15, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s10586-023-04003-z

ALMEIDA JÚNIOR, Edson Gini de. Fogão a lenha com sistema de aquecimento de água integrado. 2017.Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

ALMEIDA, Rildo Afonso; SILVA, Gesiel Almeida Oliveira; FELIX, João Paulo Santos; GUIMARÃOES, Emerson Carlos. **Sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica utilizando a tecnologia Arduino Monitoring system of electric energy consumption using arduino technology**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 7, p. 72961-72984, 2021. DOI:10.34117/bjdv7n7-461.

ALVES, Rafael Calderan; FLORIAN, Fabiana; FARINA, Renata Mirella. DOMÓTICA: ESTUDO DA CONTRIBUIÇÃO DA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL PARA A ACESSIBILIDADE DE PORTADORES DE DEFICIÊNCIA FÍSICA. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 12, p. e3122299-e3122299, 2022.

BONDARIK, Roberto; PILATTI, Luiz Alberto; HORST, Diogo José. **Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. Interciencia**, v. 43, n. 10, p. 680-688, 2018. ISSN: 0378-1844. Disponível em: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33957861002 DOI: 10.31810/RIN.43.10.7

CARRION, Patrícia; QUARESMA, Manuela. Internet da Coisas (IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. **Human Factors in Design**, v. 8, n. 15, p. 049-066, 2019. DOI: https://dx.doi.org/10.5965231679630815201904 9.

CEPEL/CRESESB**. Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 25 set. 2019.

CRESESB. Potencial solar. 2018. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data. Acesso em: 10 nov. 2022.

DE ALMEIDA, Alexandre Silva; VIEIRA, Rômulo; OLIVEIRA, Rafael Sachetto; SCHIAVONI, Flavio Luiz. Desafios da internet das coisas musicais. In: **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Computação Musical**. SBC, 2021. p. 249-252. **DOI:** https://doi.org/10.5753/sbcm.2021.19459

DÍAZ RONCEROS, Ernesto. Relevancia de la ejecución experimental de proyectos con microcontroladores en el aprendizaje de la ingeniería electrónica. Educación, v. 29, n. 56, p. 48-72, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.18800/educacion.202001.003
ENERGIA e ELETRICIDADE. **Fontes renováveis**. In: ENERGIA Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações. 2. ed.v. 1, cap. 1, 2, 3, p. 15-16, 26-27, 46, 58, 65-69, 74- 76. ISBN 9788536509785. São Paulo: Érica, 2012.

GHOSH, Sumana. Analysis and control of grid-tied quad-PV LLC converter with MPPT. In: **2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)**. p. 1912-1918. Detroit, MI, USA, 2020. DOI: 10.1109/ECCE44975.2020.9235601.

GOV. **Energia renovável chega a quase 50% da matriz energética brasileira.** 2021. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira-1#:~:text=Quase%20metade%20da%20energia%20energ%C3%A9tica,a%20solar%20vem%20ganhando%20destaques. Acesso em: 28 abr 2022.

HIZARCI, Halime; PEKPERLAK, Umit; ARIFOGLU, Ugur. Conducted emission suppression using an EMI filter for grid-tied three-phase/level T-type solar inverter. **IEEE Access**, v. 9, p. 67417-67431, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3077380.

KANG, Myeongjin; PARK, Daejin. Lightweight Microcontroller with Parallelized ECC-Based Code Memory Protection Unit for Robust Instruction Execution in Smart Sensors. **Sensors**, v. 21, n. 16, p. 5508, 2021. DOI: **https://doi.org/10.3390/s21165508**

LACERDA, Cícero Matheus da Silva. **Projeto de uma rede de sensores sem fio para monitoramento ambiental em cidades inteligentes.** 2021. Dissertação (mestrado). Curso de modelagem computacional de sistemas. Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2021.

LINO, Miguel; VASCONCELOS, Vitor; LEÃO, Erico; SOARES, Andre; MONTEZ, Carlos; MORAES, Ricardo; VASQUES, Francisco.. Mecanismo eficiente para disseminação do tráfego de controle em redes de sensores sem fio cluster-tree baseadas no IEEE 802.15. 4. In: **Anais Estendidos do IX Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais**. p. 1-8. SBC, 2019. DOI: https://doi.org/10.5753/sbesc_estendido.2019.8628

LOPES, Marcio Gomes; DOS SANTOS, José Roberto; AMICI, Thiago Tadeu; CAMUSSO, Daniel; FERNANDES, Claudio Luis Magalhães. **Monitoramento do ar em ambientes climatizados de armazenamento de sementes usando internet das coisas e computação em nuvem**. Revista Brasileira de Mecatrônica, v. 4, n. 4, p. 20-47, 2022.

MANZINI, Ezio. O desenvolvimento de produtos sustentáveis. São Paulo: Editora da universidade de São Paulo. 2011.

MIRASHE, Shivaji P.; KALYANKAR, Namdeo V. Computação em nuvem. Journal Of Computing, Volume 2, Issue 3, March 2010, ISSN 2151-9617**. arXiv preprint arXiv:1003.4074** , 2010. DOI: 10.3233/JOC-2010-0035.

MOHAMMED, Noor Saleh; SELMAN, Nasir Hussein. Gestão e monitorização da energia doméstica através da plataforma ubidots. **Al-Furat Journal of Innovations in Electronics and Computer Engineering (FJIECE)** , v. 1, n. 3, pág. 14-21, 2020. DOI: 10.1109/ICCSCE54767.2022.9935656.

NANDWANI, Shyam S; VARGAS, Rolando Madriz. Estudio Comparativo de dos Piscinas Domésticas sin y con Calentadores Solares en Heredia Costa Rica. **Segundo Congreso Nacional Fuentes Alternativas de Energía y Materiales, Centro Nacional de Tecnología, 19 al 21 de Febrero**. Costa Rica, 2014.

PEREIRA, Frederico Alcides Marques dos Santos. **Implementação de Rede de Sensores Sem Fios para Monitorização e Controlo de Sistema de Aquaponia**. 2021. Tese de Doutorado. Curso de engenharia biomédica. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, 2021

PORTAL SOLAR. Qual o valor da taxa mínima de energia elétrica? Tudo sobre custo de disponibilidade. 2022. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/qual-o-valor-da-taxa-minima-de-energia-eletrica-tudo-sobre-custo-de-disponibilidade. Acesso em: 10 nov. 2022.

POTE, Shweta A.; PATHAN, Sumaiyya C.; TILEKAR, S. K. Utilization of Ultrasonic Fogger for the Development of AVR ATmega8 Based Humidity Control System for Greenhouse Applications. **i-Manager's Journal on Electronics Engineering**, v. 12, n. 4, p. 1, 2022. DOI:10.26634/jele.12.4.19003

RIBEIRO, Eric; FLORIAN, Fabiana; FIGUEIRA, Ronaldo Gomes. Instalação do sistema fotovoltaico on-grid como cobertura de um estacionamento utilizando carport solar. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 6, p. e361574-e361574, 2022. DOI: 10.5281/zenodo.5735328.

RODRIGUES, Vítor José Costa. **Rede de sensores sem fio de longo alcance aplicada a reconhecimento facial por imagem**. 2022. Dissertação de mestrado. Curso de engenharia elétrica. Universidade Federal de Paraíba. João Pessoa, .2022.

SILVA, Beatriz Lorrane Farias; NETO, Iamara dos Santos; FERNANDES, Rafael da Silva; BRANCO, Najmat Celene; GUIMARÃES, Gabrielle Vitorino. Dimensionamento e viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico: um estudo de caso na UFRA/Parauapebas. **Revista Produção Online**, v. 21, n. 3, p. 863-890, 2021.

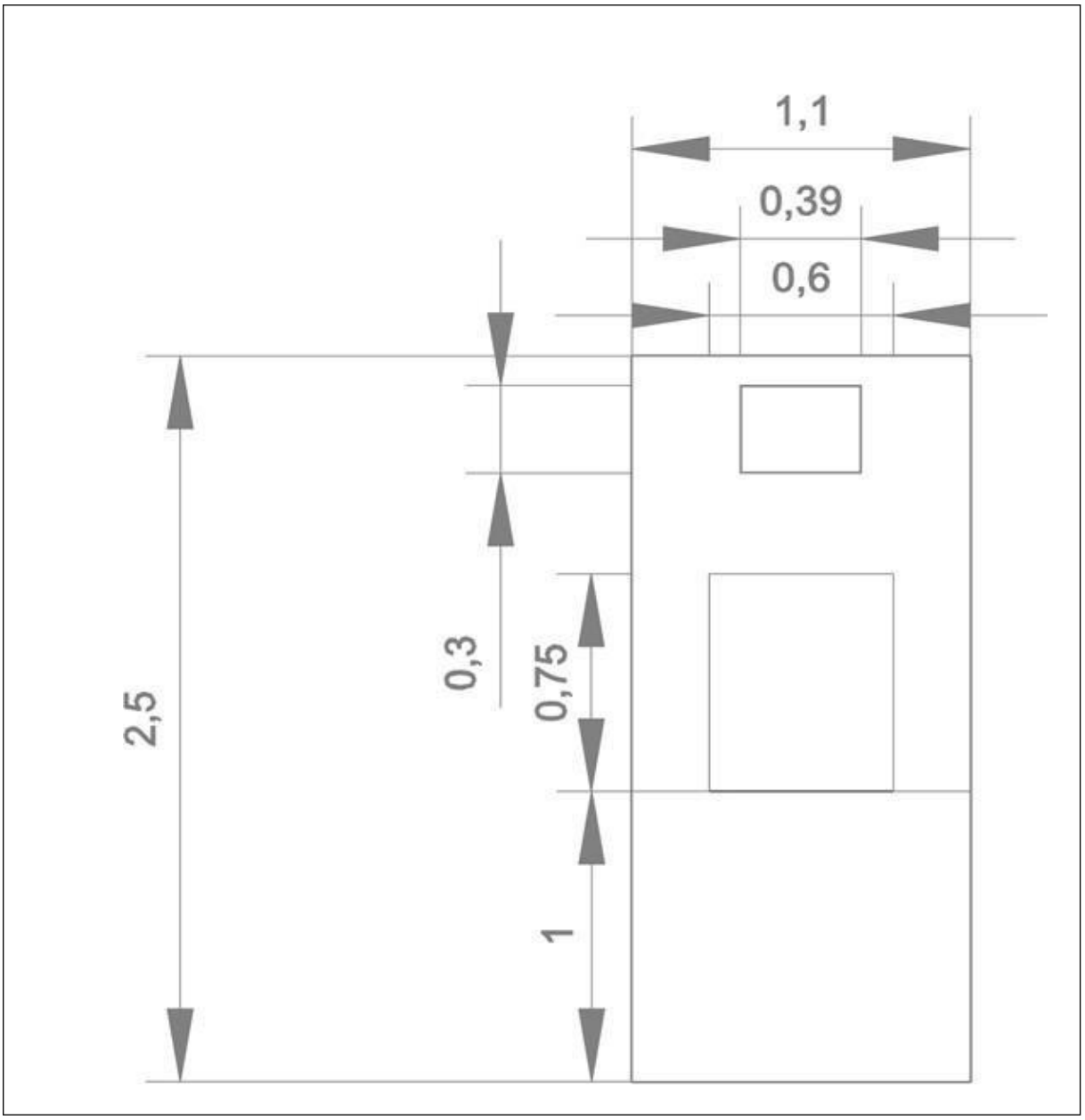
SILVA, Paulo Eduardo Alves da. Dimensionamento e implementação de um sistema fotovoltaico com ênfase na economia de energia gerada em Uberlândia–MG. 2023. Monografia (Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações). Universidade Federal de Uberlândia. Pato de Minas, 2023.

Sindigás. Queima de lenha e carvão em ambientes fechados Poluição do ar e riscos para a saúde. Rio de Janeiro: Sindigás, 2017.

SUNYAEV, Ali. **Internet computing: Principles of Distributed systems and emerging internet-based technologies**. Springer Nature, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-32433-8.

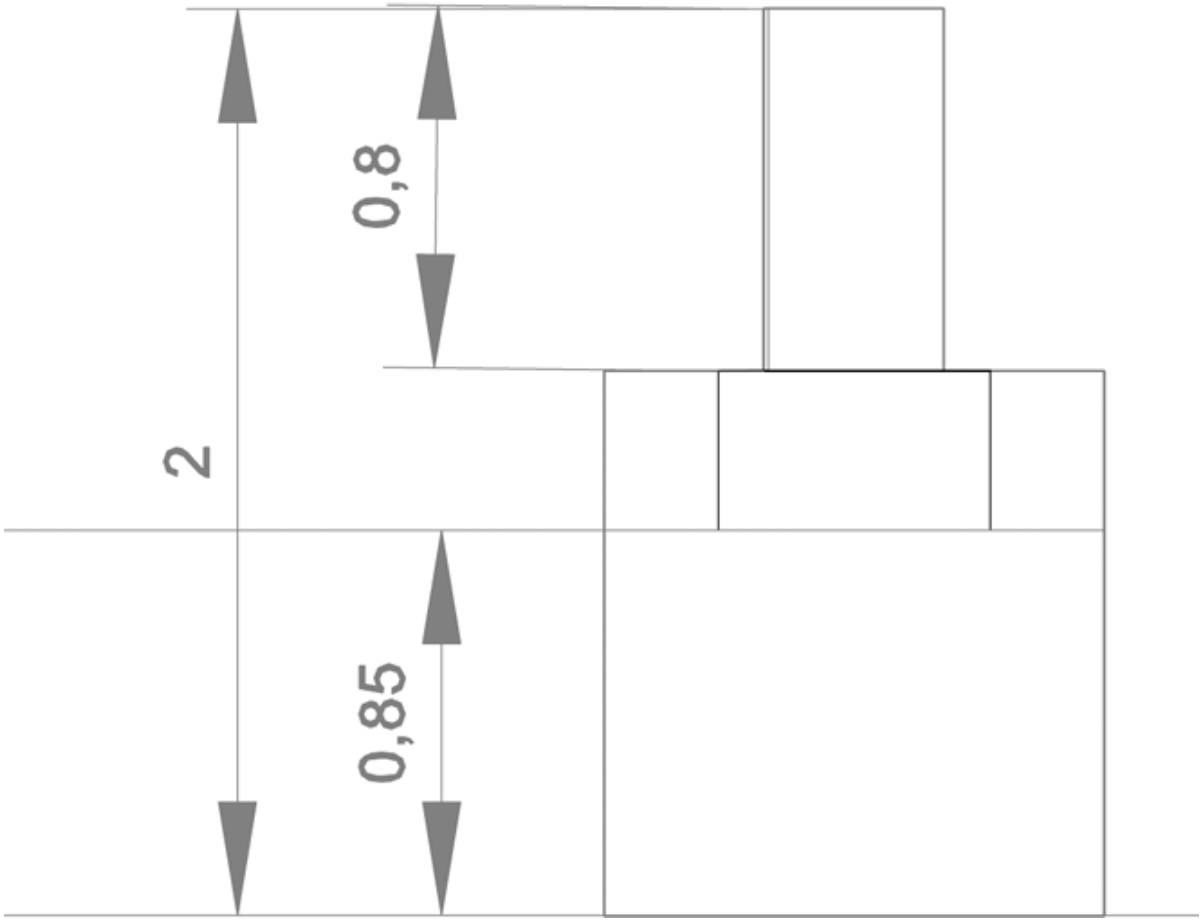
ZAGO, Ricardo Mazza. **Sistema de baixo custo para monitoramento da geração de energia solar com conexão para Internet das Coisas.** 2018. Dissertação (Mestrado). Curso de engenharia elétrica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

APÊNDICE 1 – DESENHO TÉCNICO: VISÃO SUPERIOR



Peça: montagem do fogão – visão superior	Escala: 1:1
Cotas: metros	Desenhista: Sérgio Luciano
Universidade Estadual de Campinas	Dissertação de mestrado

APÊNDICE 2 – DESENHO TÉCNICO : VISÃO LATERAL



Peça: montagem do fogão – visão lateral	Escala: 1:1
Cotas: metros	Desenhista: Sérgio Luciano
Universidade Estadual de Campinas	Dissertação de mestrado