

Dimensionamento de Sistema Solar *Off-Grid* com Monitoramento de Energia para Área Rural

Bruna Guedeihen Cattani Dias, David da Silva Oliveira, Herbert Alexandre Galdino Pereira, Hiago Marques Orneles Alcantara, Lucas Henrique de Mesquita, Marcel Stefan Wagner

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade Anhembi Morumbi (UAM)

Resumo — O projeto visa demonstrar uma forma alternativa de eletrificar áreas rurais do Brasil para garantir acesso energia elétrica, inclusão social e dignidade às pessoas que vivem nessas áreas. A técnica utilizada será da energia solar fotovoltaica e térmica. Possui ainda, o objetivo de garantir o controle da energia produzida e consumida.

Palavras-Chave — Energia. Rural. Solar.

I. INTRODUÇÃO

A energia elétrica nas áreas rurais residenciais é de grande importância para prover iluminação, aquecimento e refrigeração às propriedades. Através da energia elétrica os produtores e moradores conseguem realizar suas atividades de trabalho rural e ter acesso a iluminação segura a noite, à rádio e televisão e à conservação dos alimentos em geladeiras, entre outros benefícios que garantem a dignidade social.

No Brasil, a maior produção de energia elétrica vem através das usinas hidrelétricas. Contudo, o país por apresentar grande extensão territorial e baixo investimento em infraestruturas, faz com que muitas regiões rurais não tenham acesso à energia elétrica ou de qualidade. O que se torna imprescindível a adoção de técnicas muitas vezes não convencionais para a geração de energia.

Uma das técnicas mais utilizadas atualmente é através da energia solar. Ela pode ser dividida em dois tipos: a energia solar fotovoltaica e a energia solar térmica. A energia solar fotovoltaica é usada essencialmente para a gera energia elétrica diretamente dos raios solares através de placas feitas de cristal de silício. Já a energia solar térmica é utilizada para gerar através do calor do sol aquecimento para líquidos, como por exemplo, água para banho quente.

Os sistemas de energia solar fotovoltaicos se dividem em dois grupos:

- *On-Grid*: O sistema gerador fotovoltaico está ligado à rede pública de distribuição. Recebe e envia energia a rede oficial da Concessionaria de energia elétrica pelo SIN (Sistema Interligado Nacional) [33], que conecta os sistemas elétricos do país por meio da malha de transmissão.

- *Off-Grid*: O sistema gerador fotovoltaico não está ligado à rede pública de distribuição. Utiliza bancos de baterias próprios para receber e armazenar energia para utilizar em períodos de nenhuma ou baixa geração de energia.

II. PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS

A. JUSTIFICATIVA E PROBLEMÁTICA

As áreas rurais do Brasil carecem de sistemas de alimentação elétrica convencional de concessionárias em razão de suas vastas dimensões e pouca infraestrutura de rede elétrica que seja capaz de cobrir todas essas regiões. Isso acarreta a privação do desenvolvimento social e humano, uma vez que não terá acesso a comida sendo conservada em geladeiras, acesso à notícias e meios de comunicação como rádios, televisão, celular e internet. Além de geração de desgastes físicos em razão da execução de trabalhos manuais que poderiam ser feitos com máquinas elétricas. Garantia de banho com água em temperatura adequada depois de um dia longo de trabalho cansativo. Não ter acesso a iluminação adequados à noite e segura, pois utilizam meios que podem gerar incêndios ao tentar iluminar o ambiente a noite.

Para dar solução a esses problemas, existe a alternativa de adotar o sistema de eletrificação rural por meio de energia solar que permite gerar energia elétrica e térmica dentro dessas regiões que são desprovidas de acesso a concessionárias de energia elétrica do país.

O monitoramento do consumo e geração via celular permite um uso racional da energia elétrica durante as 24 horas do dia.

B. OBJETIVO GERAL

Coletar dados das cargas instaladas e analisar o perfil de consumo de energia elétrica na residência, levando em consideração um consumo padronizado diário, e, com os dados que serão obtidos, produzir um correto dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, controlador de carga, banco de baterias e inversor. Além disso, obter através de análise de perfil de consumo e dados técnicos geográficos e físicos, o correto dimensionamento do sistema de aquecedor solar. Por último,

gerar o monitoramento do consumo, produção de energia elétrica e temperatura da água.

C. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São apontados os seguintes objetivos específicos:

- Fazer o levantamento das principais cargas elétricas de uso diário na casa, o tempo de utilização e a potência consumida por cada equipamento elétrico;
- Delinear os picos de consumo de cada equipamento elétrico durante as horas que compõem o dia;
- Estudar o perfil de consumo;
- Gerar tabela unificada de dados de consumo por hora das cargas instaladas;
- Analisar tipo de telhado, inclinação e índice de irradiação solar no local;
- Gerar o dimensionamento dos equipamentos do sistema fotovoltaico *off-Grid* a partir dos dados coletados e analisados;
- Gerar o dimensionamento do banco de baterias;
- Gerar o dimensionamento das proteções do sistema fotovoltaico;
- Gerar o monitoramento da produção e consumo da energia elétrica na residência;
- Analisar o perfil de consumo de água quente;
- Dimensionar o sistema de aquecimento de água solar;
- Gerar o monitoramento de temperatura da água.

III. PESQUISA TEÓRICA

PARTE I – SISTEMA *OFF-GRID*

A energia solar pode ser vista como sendo um tipo de energia alternativa e renovável, que possui um baixo impacto ambiental e gera resultados satisfatórios de suprimento das energias elétricas convencionais. Graças a tecnologia que foi desenvolvida aos painéis solares fotovoltaicos, é possível fazer a captação da energia do sol e transformá-la em energia elétrica com a ajuda do seu sistema de geração. A sua armazenagem ocorre por meio de bancos de baterias que garantem a continuidade no abastecimento. Esse sistema fotovoltaico *Off-Grid* é o que é mais utilizado nas áreas rurais e será utilizado nessa pesquisa. Entretanto, muitos moradores dessas regiões ainda não implantaram esses sistemas fotovoltaicos em suas propriedades em razão dos altos custos. Esse sistema demanda os componentes principais descritos a seguir:

A. PAINEL FOTOVOLTAICO

O painel fotovoltaico é um componente responsável por transformar a energia do sol em energia elétrica. A composição do painel solar consiste em células solares, também conhecidas como células fotovoltaicas. Elas trabalham da seguinte forma:

são captados fótons da luz solar e, logo, são transformados em energia elétrica. Desta maneira, a energia absorvida por meio das placas fotovoltaicas pode ser utilizada de diferentes maneiras, tais como em indústrias, comércios, residências. Podendo usá-la até na iluminação de espaços públicos. Essas placas têm baixa manutenção, podem durar anos e não geram danos ao meio ambiente. A constituição dos painéis fotovoltaicos é normalmente composta por 2 tipos de silício, que têm como função criar cargas positivas e negativas. Para gerar uma carga negativa, o silício é associado com o boro, e para gerar uma carga positiva, o silício é associado com o fósforo. Essa associação gera mais elétrons no silício carregado positivamente e menos elétrons no silício carregado negativamente. O silício quando positivo forma uma junção com o silício carregado negativamente, o que possibilita que a célula de silício interaja com o sol para gerar eletricidade.



Figura 1 – Painel Fotovoltaico.

Fonte: Portal G1, 2019 [10].

B. CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é um componente importante dentro do sistema fotovoltaico *Off-Grid*, pois ele é o equipamento responsável por garantir a vida útil das baterias estacionárias, protegendo-as dos efeitos da sobrecarga ou descarga repentinas. Esse equipamento é responsável ainda por tornar o armazenamento da energia elétrica excedente mais eficiente, evitando as perdas de energia. Tem a função gerar uma corrente de energização maior que a descarga automatizada do sistema e manter o sistema de funcionamento das baterias. O dispositivo também foi projetado para compensar os diferentes fluxos de energia elétrica que acontecem quando a bateria está em processo de carregamento e usada ao mesmo tempo - um processo de suspensão. O controlador também tem a função de indicar quando a bateria está com baixa carga, além de garantir a proteção contra curtos-circuitos e sobrecargas, além de poder medir a pressão e temperatura do conjunto, prevenindo danos por acidentes e superaquecimento.

Os controladores de carga possuem duas tecnologias: a *Pulse Width Modulation (PWM)* e a *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*.

O controlador de carga do tipo *PWM* usa um sistema de pulsos de tensão em alta frequência que por sua vez, são configurados de acordo com os indicadores de tensão do sistema de banco de baterias. Por ser mais barato é o mais usado, porém possui um sistema de controle de tensão dos bancos de baterias ruim e apresenta perda na energia produzida quando a tensão do sistema dos acumuladores de carga for menor do que a tensão produzida pelas placas fotovoltaicas. Para evitar danificações às baterias, o controlador do tipo *PWM* procura diminuir o valor da tensão de carga a um patamar de segurança, porém ao fazer isso, ele mantém a corrente nominal do conjunto de células fotovoltaicas do sistema. Isso gera perdas da tensão produzida que está sobressalente [14].

O controlador de carga do tipo *MPPT* trabalha do mesmo modo de princípio do controlador *PWM*, porém ele usa um código de algoritmo do tipo rastreamento que ajuda a diminuir o valor da tensão de carga mandado para as baterias, porém produz um ganho bem proporcionado na corrente de carga, o que garante dessa forma um aproveitando de todo o potencial do conjunto do sistema e impedindo a diminuição de potência. [14].



Figura 2 – Controlador de Carga.
Fonte: Neosolar, 2022 [17].

C. INVERSOR

O inversor fotovoltaico ou solar é o equipamento utilizado para converter a energia elétrica, gerada através dos painéis fotovoltaicos, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), dessa forma é possível a sua utilização como fonte de energia elétrica para uso dos aparelhos domésticos das casas. O inversor solar *off-grid* foi criado para ser utilizado em sistemas solares fotovoltaicos desconectados da rede elétrica das concessionárias e que utilizam sistemas de bancos de baterias. Ele converte a eletricidade de CC a 48, 24 ou 12 Volts para a energia de CA dentro das faixas de 110/220 V e 60 Hz aqui no Brasil. A sua potência é de acordo com a dimensão projetada

do sistema solar. Os inversores de maior potência e mais modernos possuem o controlador de carga já acoplado a ele.

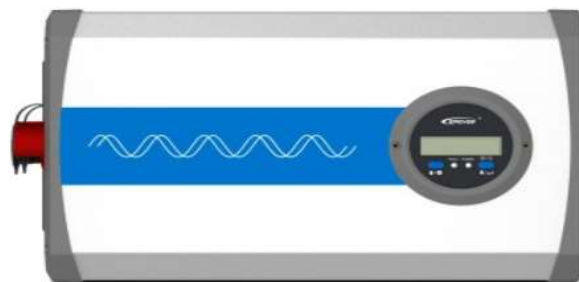


Figura 3 – Inversor.
Fonte: Neosolar, 2022 [18].

D. BANCO DE BATERIAS

A bateria do sistema fotovoltaico utilizada em sistemas *Off-Grid* para garantir a estabilidade no fornecimento de energia. Sua finalidade principal é a de armazenamento da energia elétrica convertida para permitir o seu uso em qualquer instante, especificamente durante o período da noite, dias chuvosos ou nublados. Pode-se encontrar três tipos de bateria para ser utilizada nesse sistema: níquel-cádmio, chumbo-ácido e íons de lítio. As mais utilizadas são as de chumbo-ácido estacionárias.



Figura 4 – Banco de Bateria.
Fonte: Intelbras, 2022 [23].

E. COMPONENTES PERIFÉRICOS

Os componentes periféricos do sistema Off Grid são partes menores que compõem o sistema como um todo, abaixo estão os principais:

- *String Box Solar Off-Grid AC/DC* para Inversor e Controlador (função: proteção do sistema): composta por

Disjuntor DC, Porta Fusível, *DPS DC Clamper*, Quadro de distribuição com seus periféricos;



Figura 5 – String Box.
Fonte: Sharenergy, 2017 [31].

- Barra Perfil em Alumínio, Fixador Intermediário *Middle Clamp*, Fixador *Final Z End Clamp*/painéis (função: prender os painéis solares);

- Cabo flexível de cobre estanhado, têmpera mole e classe 5, Isolação a base de composto não halogenado termofixo, antichamas, resistente a radiação UV. E par de Conector MC4 (função: ligar os painéis solares até a *String Box*).

PARTE II – SISTEMA DE AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA

Aquecedor de água por meio da energia solar é um importante instrumento nas residências para garantir o banho em temperatura apropriada aos moradores.

Em suma, um sistema de aquecimento solar de água é composto por um coletor solar (painel) e o reservatório térmico chamado de *Boiler*.

As placas têm a função de captar a radiação solar. Esse calor absorvido é transferido para a água que transita por dentro da tubulação de cobre. A água aquecida volta para o reservatório e fica nesse processo de ida e volta.

A água quente é armazenada no *Boiler*, que se trata de um cilindro de polipropileno, cobre ou inox que possui ainda isolamento térmico com poliuretano expandido, que a conserva aquecida até a hora do seu consumo.

No captador solar, os raios solares transpassam o vidro da tampa do captador e eles aquecem as aletas que são fabricadas com material de alumínio ou cobre e pintadas com uma tinta especial e escura que ajuda a realizar a captar a máxima radiação solar.

O calor então passa das aletas para as serpentinas feitas normalmente de cobre. Posteriormente, a água contida no interior da serpentina gera aumento de temperatura a esquentando e vai parar diretamente no *boiler*.

O sistema acoplado ao chuveiro trabalha no sistema de misturador de água, uma tubulação vem da caixa de água normal e outra tubulação do aquecedor, que se encontram em dois registros de água dosados, esses registros geram a temperatura ideal para banho.

A seguir poderá ser visto uma foto que ilustra o sistema de aquecimento de água a partir de placas coletoras, o que proporcionará mais compreensão sobre esse sistema, ao mostrar com maior detalhe a montagem do sistema (*boiler*, coletores, caixa de água e tubulação).

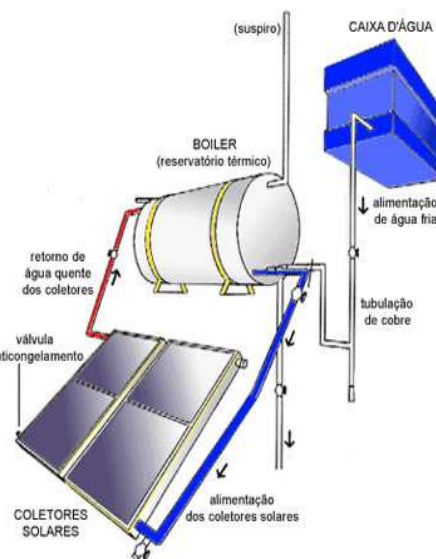


Figura 6 – Aquecedor Solar de Água.
Fonte: Brasil Escola, 2022 [8].

PARTE III – SISTEMA DE MONITORAMENTO

O conjunto de energia solar para utilização nas residências conta com um sistema de monitoramento de produção e consumo do sistema fotovoltaico *off-grid* e monitoramento da temperatura da água da caixa d'água. Esse sistema de monitoramento trabalhará com componentes do sistema do ESP32.

PARTE IV – METODOLOGIA

A metodologia se desenvolverá através de um estudo de caso. Para tanto, foi escolhido uma residência de Chácara onde não existe energia elétrica, situada na Rua Francisco da Costa, Nº 107 – Bairro Chácara Guaio - CEP: 08.512-100 – Cidade de Ferraz de Vasconcelos – SP. Latitude e Longitude: - 23.580412331232086, -46.357752892132034. Essa residência necessita de um sistema fotovoltaico capaz de suprir a demanda de energia e um sistema de aquecedor solar para água. Para isso a instalação elétrica será dimensionada. Encontrar seu consumo mensal de kWh/dia para posteriormente dimensionar a quantidade de placas fotovoltaicas, inversor, controlador de carga, *String Box* e banco de baterias. Será dimensionado ainda

o sistema de aquecimento solar para água dessa residência e gerado o monitoramento desses sistemas em suas gerações e consumo.



Figura 7 – Residência do Projeto.
Fonte: Google Maps, Autor, 2022 [16].

PARTE I – DIMENSIONAMENTO *OFF-GRID*

O processo de dimensionamento precisa seguir os seguintes passos:

1. Estudo de Carga: cálculo do consumo médio dos aparelhos em *Watt*; estimativa de horas de consumo energético, estimativa de consumo diário em *Watt* e determinar o kWh/dia;
2. Estudo do telhado, inclinação e área disponível para instalar os painéis solares;
3. Verificação de sua posição geográfica e índices de irradiação solar do local através dos dados do CRESESB;
4. Estudo de perdas por sombreamento e sujidade;
5. Dimensionamento da quantidade de módulos fotovoltaicos, inversor, controlador de carga e proteções;
6. Dimensionamento do banco de baterias. Este irá considerar para seu desenvolvimento as luzes, geladeira, televisão, rádio e uma tomada para carregar celular (os seus tempos de uso e potências) para compor os circuitos que utilizaram a carga da bateria com uma autonomia de 2 dias.

PARTE II – AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Para se realizar o processo de dimensionamento do sistema de aquecimento de água, é analisado quantas pessoas existem na casa, quantos banho tomam, o tempo que demoram e a vazão de água pela tubulação do chuveiro. Além disso, será olhado o local de instalação e seu potencial de insolação e a forma de instalação. Conseguirá assim, obter o volume de água para saber a quantidades de *boilers* necessários e a quantidade de painéis solares de aquecimento.

Referente à instalação dos coletores e do reservatório térmico, é necessário observar as características devido as diversas formas de instalação de telhados e áreas de sombreamento do local, para melhor definir o tamanho do

coletor solar e o modelo do reservatório. Este ponto é fundamental para o dimensionamento do sistema, pois impacta diretamente em sua eficiência.

Além disso, é necessário olhar a inclinação do telhado, direcionamento das placas onde se obtém maior incidência solar e com pouco sombreamento. Normalmente para regiões abaixo da linha Equador, devem estar voltadas para o Norte. Já se estiver situado acima da linha do Equador, deve direcionar as placas para o Sul. [32]

O perfil de consumo da água aquecida pelos coletores é de fundamental importância nesse dimensionamento. Uma vez que, quanto maior a necessidade da água aquecida, maior a demanda por energia. Por isso, o reservatório precisa ter maior capacidade de armazenamento e podem ser necessários mais coletores.

O objetivo da instalação procura avaliar se em alguns casos, depois de instalado, existe a necessidade de, por exemplo, desenvolver bomba de água ou válvulas para fazer a água circular pelos coletores ao *boiler*. O que é fundamental para manter o sistema funcionando e suprimindo a demanda. Além disso, em muitos casos podem necessitar do sistema de resistência que mantém a água em temperatura de banho em tempos frios, porém nesse projeto como é *off-grid* ligado ao banco de baterias, se optou em não acionar a parte elétrica do sistema de aquecimento solar em razão da quantidade grande de baterias que iria necessitar, para suprir essa parte foi implantado o monitoramento da temperatura da água que permite utilizá-la em horários que a temperatura estiver mais adequada para banho.

PARTE III - MONITORAMENTO

A. SENSOR DE CORRENTE ELÉTRICA

O sensor de corrente ACS712 será utilizado para medir corrente *AC* do sistema. Muito usado em projetos com ESP32 de automação residencial como medidores de corrente elétrica. Através dessas medidas de corrente elétrica é possível através do ESP32 encontra a potência de consumo e o tempo de uso energético do banco de baterias estacionárias.

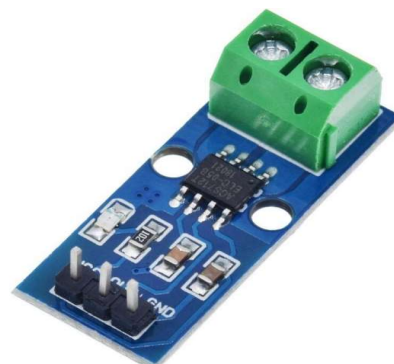


Figura 8 – Sensor ACS712.
Fonte: Portal Curto-Circuito, 2022 [4].

B. SENSOR DE TEMPERATURA

Sensor de Temperatura DS18B20 será utilizado para medir a temperatura da água de banho do sistema de aquecedor solar dentro do Boiler. Com intuito monitorar a temperatura e decidir de acordo com o tempo de, por exemplo, adia ou antecipa seu banho. O DS18B20 é bastante preciso ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ exatidão) e proporciona leituras de temperatura de até 12-bits (configurável) através de uma conexão de dados de apenas 1 fio com o seu microcontrolador ESP32.



Figura 9 – Sensor DS18B20

Fonte: Portal Curto-Circuito, 2021 [3].

C. PLACA ESP32

A Esp32 será usada para ler os dados e informa a seu usuário, temperatura e corrente com auxílio de sua conexão com o *wi-fi*. E desses dados será obtida a potência consumida, e temperatura de água de banho.

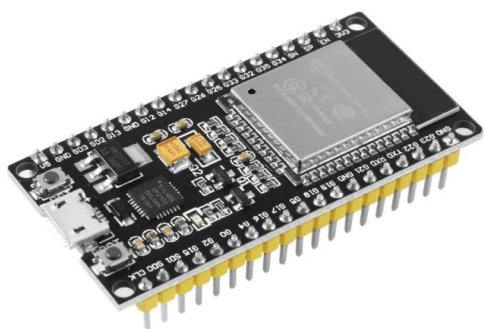


Figura 10 – Placa Esp32.

Fonte: Portal Cap Sistema, 2022 [7].

IV. DESENVOLVIMENTO E RESULTADO

PARTE I – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

1. PERFIL DE CONSUMO DE CARGA

Para a realização do dimensionamento das cargas elétricas e a análise do consumo médio diário será considerado nesse projeto solar fotovoltaico o consumo elétrico de uma residência

rural para dois moradores adultos localizada na cidade de Ferraz de Vasconcelos/SP. Está previsto no dimensionamento das cargas o uso de eletrodomésticos, aparelhos eletrônicos e elétricos residenciais de uso cotidiano que serão selecionados com auxílio dos dados do perfil de posse de equipamentos elétricos direcionado ao estado de São Paulo que são disponibilizados pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), através da sua Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos Residencial pelos seus moradores.

TABELA 1
CONSUMO DIÁRIO E MENSAL DE ENERGIA ELÉTRICA NA RESIDÊNCIA.

Equip.	Qtd	Potência total (W)	Uso (h/dia)	Consumo (Wh/dia)
Lâmpada Led	6	54	5	270
Geladeira	1	208	6	1250
Televisor	1	130	4	520
Lavadora	1	470	0,532	250
Notebook	1	73	6	438
Rádio	1	20	3	60
Ventilador	1	100	7	700
Micro-ondas	1	1200	0,18	216
Cargas Esporádicas	-	1100	-	450
TOTAL	-	3355	-	4154

Fonte: Autor, 2022.

2. LEVANTAMENTO DOS ÍNDICES DE LAR

O levantamento dos índices de irradiação solar no local do projeto será apresentado a partir dos dados obtidos pelo sistema do CRESESB. Esse sistema libera os dados de três pontos mais próximos onde é realizado a medição, através deles possibilitará obter o valor médio para o local dessa residência.

Município	UF	Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Média (kWh/m ² .dia)
Suzano	SP	23,601° S	46,349° O	2,5	4,39
Itaquaquecetuba	SP	23,5° S	46,349° O	9	4,42
Sao Paulo	SP	23,601° S	46,449° O	9,6	4,41

Figura 11 – Índice HSP de 3 pontos próximos.

Fonte CRESESB, 2022 [5].

$$HSP_{\text{médio 3 pontos}} = \frac{4,39+4,42+4,41}{3} = 4,40 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$$

3. DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

A fórmula de cálculo de dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico indicado pelo Manual de Engenharia para Sistema Fotovoltaicos do CRESESB [6] é mostrada a seguir, na Equação (5.1). Aconselha-se o dimensionamento do sistema gerador sobre 90% do consumo da residência, irá ser aplicado os valores do estudo de caso da Tabela 1 para obter a potência do arranjo e consequentemente o número de painéis necessários de acordo com a potência do painel escolhido. A taxa de desempenho (TD) de referência escolhida foi 0,8 de acordo com indicação do CRESESB [6] (0,7 e 0,8 no Brasil).

Consumo diário médio = 4154 Wh/dia

90% do Consumo diário médio = $0,9 \times 4154 = 3738,6$ Wh/dia

Cálculo:

$$P_{FV}(Wp) = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde,

$P_{FV}(Wp)$ – Potência de pico do painel fotovoltaico;

E (Wh/dia) – Consumo diário médio anual da edificação;

HSP (h) – Média diária anual das HSP incidentes no plano do painel;

TD – Taxa de Desempenho do sistema (0,7 – 0,8 no Brasil) [CRESESB].

$$P_{FV}(Wp) = \frac{\left(\frac{3738,6}{0,8}\right)}{4,4} = 1062,1 \text{ Wp}$$

Para achar o número de módulos será escolhido usar nessa residência o painel Jinko Solar JKM530M-72HL4-TV, onde as características do fabricante estão na Tabela 2 e com base na Tabela 1.

TABELA 2
DADOS DO MÓDULO JINKO SOLAR JKM530M-72HL4-TV.

Item	Valor
Potência máxima nominal	530 Wp
Tensão de MPPT	40,7 V
Corrente de MPPT	13,02 A
Tensão de circuito aberto	49,35 V
Corrente de curto-circuito	13,71 A
Eficiência do módulo	20,55%

Fonte: Jinko, 2022 [24].

Após escolher a potência do painel solar, será corrigido a potência do arranjo e de acordo com a Tabela 2 obteve:

$$N^{\circ} \text{ painéis} = \frac{P_{FV}}{P_{max}} = \frac{1062,1}{530} \cong 2 \text{ painéis} \quad (\text{Eq. 2})$$

4. DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGA

Considerando a configuração dos módulos, sua tensão de operação sendo 40,7 V e corrente elétrica de curto é 13,71 A, a seleção do controlador de carga se dá pela fórmula: [11].

$$I_{controlador} = 1,25 \times N_{painéis} \times I_{sc} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde,

$I_{controlador}$ - Corrente mínima do controlador

$N_{painéis}$ - Número de painéis

I_{sc} - Corrente de Curto do módulo

$$I_{controlador} = 1,25 \times 2 \times 13,71 = 34,275 \text{ A}$$

Conforme o cálculo demonstra, o sistema necessitará de pelo menos um controlador de carga de aproximadamente 35A. Para a segurança da instalação e dos outros componentes do sistema fotovoltaico, foi escolhido o controlador de carga modelo Epever XTRA 4415N. A ficha técnica do controlador segue na Tabela 3.

TABELA 3
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO CONTROLADOR DE CARGA

Itens	Características
Tipo de Algoritmo de Carga:	MPPT
Modelo:	XTRA 4415N
Tensão Nominal do Sistema:	12/24/36/48 V (automático)
Corrente de Carga:	40 A
Corrente de Descarga:	40 A
Máxima Tensão da Bateria:	68 V
Tensão Máxima do Sistema*:	150 V
Tipos de Bateria:	Selada, Gel, Ventilada e Lítio
Visor:	Sim
Programável:	Sim
Entrada USB:	Não
Bitola Máxima do Cabo:	16 mm ²
Aterramento:	Comum Negativo
Código IP:	IP 33
Dimensões:	280 x 210 x 90 mm
Peso:	1,7 kg

Temperatura de Operação: $-25^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$

Fonte: Neosolar, 2022 [19].

5. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIA

A realização dos cálculos e fórmulas para dimensionamento do banco de baterias e seu sistema de ligação foi adotado a metodologia do *GREENPRO* [11].

5.1 ENERGIA ARMAZENADA NECESSÁRIA PARA UMA AUTONOMIA DE 3 DIAS:

$$EC = ECD \times N_{\text{autonomia}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde,

EC = Energia Consumida

ECD = Energia Consumida Diariamente

$N_{\text{autonomia}}$ = Quantidade de dias de autonomia (foi adotado 3 dias)

$$EC = 4154 \times 3 = 12462 \text{ Wh/dia}$$

5.2 CÁLCULO DA ENERGIA ARMAZENADA NO BANCO DE BATERIAS:

$$EA = EC/Pd \quad (\text{Eq. 5})$$

Sendo:

EA - Energia armazenada no Banco (Wh)

Pd - Profundidade de descarga permitida (Foi usada a bateria estacionaria de 12V, 240Ah DF4100 da Freedom profundidade de descarga 20%)

$$EA = 12462 / 0,2 = 62310 \text{ Wh}$$

5.3 CAPACIDADE DO BANCO DE BATERIAS:

$$CBB = \frac{EA}{V_{\text{banco}}} \quad (\text{Eq. 6})$$

sendo,

CBB = Capacidade do Banco de Baterias

V_{banco} = Tensão do Banco de Bateria

$$CBB = \frac{62310}{48} = 1298,125 \text{ Ah}$$

5.4 NÚMERO DE BATERIAS EM SÉRIE:

$$NBS = \frac{V_{\text{banco}}}{V_{\text{bateria}}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde,

NBS = Número de baterias em série;

V_{banco} = Tensão do Banco de Baterias

V_{bateria} = Tensão das Baterias

$$NBS = \frac{48}{12} = 4 \text{ baterias em série}$$

5.5 NÚMERO DE BATERIAS EM PARALELO:

$$NBP = \frac{CBB}{C_{\text{bateria}}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde,

NBP = Número de baterias em paralelo;

C_{bateria} = Capacidade da Bateria considerando descarga em 20 horas (para nossa bateria o valor é de 220 Ah)

$$NBP = \frac{1298,125}{220} = 5,9$$

Arredondando tem-se 6 baterias em paralelo.

5.6 NÚMERO TOTAL DE BATERIAS:

$$NTB = NBS \times NBP \quad (\text{Eq. 9})$$

$$NTB = 4 \times 6 = 24 \text{ baterias}$$

TABELA 4
CARACTERÍSTICA DA BATERIA

Itens	Características
Tensão Nominal:	12 Vcc
Marca e Modelo:	Freedom DF4100 (240Ah / 220Ah)
Liga:	Chumbo-Ácido
Capacidade em C10*:	200 Ah
Capacidade em C20*:	220 Ah
Capacidade em C100*:	240 Ah
Torque Mínimo:	9 N.m
Torque Máximo:	11 N.m
Faixa de tensão de flutuação:	$13,2 \pm 0,1 \text{ V}$
Faixa de tensão de carga:	$14,14 \pm 0,1 \text{ V}$
Compensação de Temperatura acima de 25°C :	$-0,033 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$
Compensação de Temperatura abaixo de 25°C :	$+0,033 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$

Temperatura de Trabalho: -10 °C ~ 40 °C

Dimensões: 175 x 175 x 175 mm

Peso: 60,3 kg

Homologação: Anatel

Terminais: Tipo L - Chumbo

Profundidade de Descarga 20%

Fonte Neosolar, 2022 [20].

6. DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

O dimensionamento pode ser expresso pela seguinte equação:

$$P_{inv} = P_{mod} \times N_{mod} \times F_{seg} \quad (\text{Eq. 10})$$

onde:

P_{inv} - Potência mínima do inversor

P_{mod} - Potência dos módulos fotovoltaicos

N_{mod} - Número de módulos fotovoltaicos

F_{seg} - Fator de segurança de 30% (1,3)

$$P_{inv} = 530 \times 2 \times 1,3 = 1378 \text{ W}$$

Com esses resultados será o Inversor Senoidal 2000W *Ipower Plus* IP2000-41 da figura 3.

TABELA 5
CARACTERÍSTICA DO INVERSOR

Itens	Características
Tipo de Onda:	Senoidal Pura
Modelo:	IPower Plus IP2000-41 (T)
Tensão de Entrada:	48 Vcc
Tensão de Saída:	120 Vca
Potência de Saída (contínua):	2000 W
Potência Máxima de Surto:	4000 W
Eficiência:	93%
Frequência:	50/60 Hz
Corrente sem Carga:	< 0,5 A
Distorção Harmônica:	≤ 3 %

Entrada USB: 5V / 0,2A

Código IP: IP 20

Dimensões: 421 x 231,5 x 123 mm

Peso: 6,5 kg

Temperatura de Operação: -20°C ~ +50°C

Bateria: Compatível com Bateria de Lítio

Fonte Neosolar, 2022 [21].

7. DIMENSIONAMENTO DAS PROTEÇÕES

7.1 CABEAMENTO CC:

$$S_{Dc} = \frac{2 \times D \times 1,25 \times I_{SC}}{\Delta V (\%) \times V_{MPPTarranjo} \times (1/p)} \quad (\text{Eq. 11})$$

Sendo,

S_{Dc} - Secção do cabo em mm²

ρ ($\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$) - Resistividade do condutor (0,0178)

D (m) - Distância total do condutor;

I_{SC} (A) - Corrente que passará no condutor

(%) - Queda de tensão no cabeamento (adotado 1%)

$V_{MPPTarranjo}$ - Tensão do Arranjo (2 x 40, 7 v)

$$S_{Dc} = \frac{2 \times 15,6 \times 1,25 \times 13,71}{0,01 \times 81,4 \times 56,18} = 6,74 \text{ mm}^2 \rightarrow 10 \text{ mm}^2$$

7.2 CABEAMENTO CA:

$$I_{NCA} = \frac{P_{Inversor}}{V_{saida Inv} \times \cos \sigma} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde,

I_{NCA} - Corrente do sistema

$P_{Inversor}$ - Potência do Inversor;

$V_{saida Inv}$ - Tensão de Saída do Inversor

$\cos \sigma$ - Obtido o valor 1

$$I_{NCA} = \frac{2000}{120 \times 1} = 16,66 \text{ A}$$

Para obter a secção do condutor será calculado pela equação:

$$S_{AC} = \frac{2 \times D \times I_{NCA} \times \cos \theta}{\Delta V (\%) \times V_{N rede} \times (1/p)} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde,

D (m)– Distância do Cabeamento;

I_{NCA} (A)– Corrente do sistema

$\cos \sigma$ – Obtido o valor 1

(%) –Queda de tensão no cabeamento (adotado 1%)

V_{Nrede} (v) –Tensão de rede

ρ ($\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$)– Resistividade do condutor (0,0178)

$$S_{AC} = \frac{2 \times 11 \times 16,66 \times 1}{0,01 \times 120 \times 56,18} = 5,44 \text{ mm}^2 \rightarrow 6 \text{ mm}^2$$

7.3 DISJUNTORES CA E CC

Pode-se definir a escolha do disjuntor CA pela equação abaixo:

$$I_{NCA} < I_{disjuntor} < I_{M\acute{a}x \text{ se\c{c}\~{a}o}} \quad (\text{Eq. 14})$$

$$16,66 \text{ A} < I_{disjuntor} < 36 \text{ A}$$

Será usado um disjuntor de 32A do lado CA.

Pode ser usado também um disjuntor de 20A na parte CC.

7.4 FUSÍVEL CC

Essa proteção deve ser colocada realizada do lado CC do sistema, pode ser obtido seu dimensionamento pela equação abaixo:

$$I_{fusível} = 1,25 \times I_{SC_{ramo}} \quad (\text{Eq. 15})$$

$$I_{fusível} = 1,25 \times 13,71 = 17,13 \text{ A}$$

Pode ser utiliza um fusíveis gPV de 20 A.



Figura 12 – Conjunto de porta fusíveis e fusíveis de proteção GpV para sistema fotovoltaico.

Fonte: BRASILTEC, 2020 [1]

7.5 DPS

Será Utilizado do lado DC um conjunto bipolar de DPS do modelo I/II de 40KA e 1300Vcc da Brasiltec.



Figura 13 – DPS CC.

Fonte: BRASILTEC, 2022 [2].

Será Utilizado do lado AC dois DPS unipolar do modelo I/II de 40KA e 275Vca da Brasiltec.



Figura 14 – DPS CA.

Fonte: BRASILTEC, 2022 [2].

RESULTADO DA PARTE I – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO:

Para dimensionar o sistema foi levantado o perfil de consumo de cargas da residência e considerando uma autonomia de baterias de 3 dias.

Ao fazer o dimensionamento das placas fotovoltaicas foi encontrado o resultado que é necessitado e 2 módulos de 530 Wp ligados e série.

No dimensionamento do controlador foi observado a necessidade de um controlador acima de 34,275 A, o que corresponde aos disponíveis no mercado na faixa de 40A. Foi

escolhido o modelo Epever XTRA 4415N.

Ao dimensionar o banco de bateria encontrou-se a necessidade de se colocar 24 baterias, sendo 6 em paralelo e 4 em série como mostra a figura a seguir:

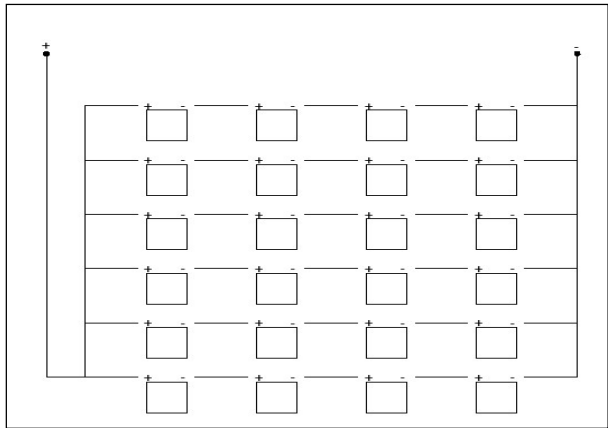


Figura 15 – Sistema de Ligação das Baterias.
Fonte: Autor, 2022.

O inversor ao dimensionar obteve a potência de 1378 W, foi escolhido o modelo *IPower Plus* IP2000-41 (T) de 2000 W.

Nas proteções obteve no dimensionamento os fusíveis gPV de 20 A e DPS CA e CC de 40KA. Disjuntores de 32A do lado CA e de disjuntor de 20A na parte CC.

O esquema de ligação está mostrado no unifilar do sistema fotovoltaico da figura 16:

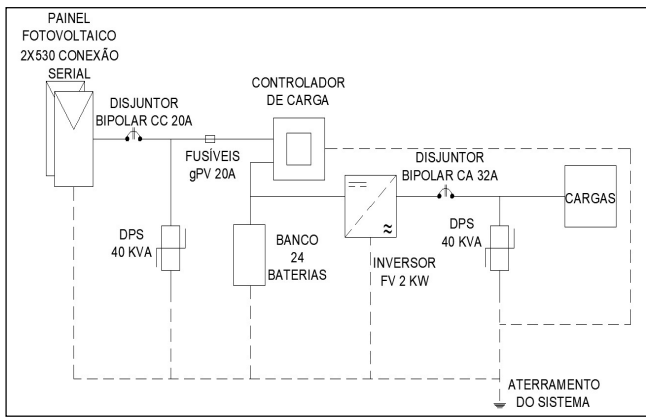


Figura 16 – Sistema de Fotovoltaico.
Fonte: Autor, 2022.

TABELA 6
O CUSTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO ESTÁ REPRESENTADO NA TABELA ABAIXO:

Item	Valor
Módulos Fotovoltaicos	R\$ 3.600,00
Controlador de Carga	R\$ 1.100,00
Inversor Solar	R\$ 2.800,00
Baterias	R\$ 48.096,00
Kit de Proteção	R\$ 1.200,00

Kit de Instalação	R\$ 600,00
Instalação, frete e materiais periféricos	R\$ 3.600,00
TOTAL	R\$ 60.996,00

Fonte: Autor, 2022.

PARTE II – DIMENSIONAMENTO DO AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Para elaborar o dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água, deve-se levar em consideração os seguintes fatores:

- Vazão das peças de utilização;
- Tempo e frequência de uso;
- Dados de Temperatura;
- Demanda de energia útil;
- Irradiação global média anual.

Através das sequências de cálculo a seguir, será realizado um estudo de caso de uma Residência unifamiliar localizada na cidade de Ferraz de Vasconcelos -SP.

Esta residência possui o seguinte perfil de consumo:

- 1 banheiro que será abastecido com água quente, chuveiro e lavatório de mãos;
- 1 cozinha que também será abastecida por água quente na torneira da pia;
- 2 residentes.

Para encontrar o volume do reservatório de água quente e quantidade de placas solares necessárias para atender a esta residência deve-se seguir os métodos indicados na NBR 15569 de 2008 [22], que diz que o dimensionamento do conjunto de aquecimento solar de água pode ser feito das seguintes fases abaixo:

1. CÁLCULO DO VOLUME DE CONSUMO

O volume para consumo de água quente diária é definido pela seguinte expressão (podendo apresentar certas alterações em razão da vazão das peças de utilização, tempo médio e frequência de uso):

$$V_{consumo} = \sum Q_{pu} \times T_u \times frequencia_{uso} \text{ (Eq. 16)}$$

Onde,

$V_{consumo}$: é o volume total de água quente consumido diariamente medido em m³;

Q_{pu} : vazão da peça de utilização medida em m³/s;

$$V_{armaz} \geq 0,75 V_{cons}$$

T_u : tempo médio de uso diário da peça de utilização (s);

$frequência_{uso}$: é o número total de utilização de peças por dia.

Para esta residência, tem-se as seguintes medidas:

- Chuveiro: 5 litros/min, considerando 10 minutos de uso por dia.
- Lavatório: 13 litros/pessoa/dia;
- Pia de cozinha: 20 litros/pessoa/dia.

TABELA 7
PERFIL DE CONSUMO

Aparelhos	Vol. (L)	Quant.de Pessoas	Vol. Calcul.	Quant.de Aparel.	Vol. Total (L)
Chuveiro	50	2	100	1	100
P. da Coz.	20	2	40	1	40
Lavatório	13	2	26	1	26
TOTAL					166

Fonte: Autor, 2022.

2. CÁLCULO DO VOLUME DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

O volume do sistema de armazenamento é definido pela seguinte expressão conforme equação 17.

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})} \quad (\text{Eq. 17})$$

V_{armaz} : é o volume do sistema de armazenamento do SAS (m³). Sugere-se que o volume de armazenamento seja maior ou igual a 75% do volume de consumo.

$T_{consumo}$: é a temperatura de consumo de utilização (°C). Sugere-se a utilização de 40°C.

T_{armaz} : corresponde a temperatura de armazenamento da água (°C). Sugere-se que a temperatura de armazenamento seja igual ou maior do que a temperatura de consumo.

$T_{ambiente}$: é a temperatura média anual do local de instalação.

Considerando uma temperatura ambiente de 20°C para a cidade de Ferraz de Vasconcelos, e uma temperatura de armazenamento de 50°C e 40°C de consumo.

$$V_{armaz} = \frac{166 \times (40 - 20)}{(50 - 20)} = 110,667, \text{ porém deve estar maior ou igual a 75\% do volume de consumo,}$$

$$\text{Logo tem-se: } 0,75 \times 166 = 124,5 \text{ L}$$

3. CÁLCULO DA DEMANDA DE ENERGIA ÚTIL E ENERGIA PERDAS.

É necessário calcular a demanda útil de energia, de acordo com a seguinte expressão matemática:

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times Cp \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600} \quad (\text{Eq. 18})$$

$E_{\text{útil}}$: é a energia útil, expressa em KiloWatts hora por dia (kWh/dia)

ρ : corresponde a massa específica da água igual a 1000 (kg/m³)

Cp : é o calor específico da água igual a 4,18 (Kj/Kg)

$$E_{\text{útil}} = \frac{0,125 \times 1000 \times 4,18 \times (50 - 20)}{3600} = 4,354 \text{ KWh/dia}$$

A energia perdida pelo sistema, conforme NBR 15569 [22] será de 15% do valor da demanda de energia útil, dada pela equação em (kWh/dia):

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times E_{\text{útil}}$$

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times 4,354 = 0,653 \text{ KWh/dia}$$

4. CÁLCULO DA ÁREA COLETORA

O cálculo da área coletora tem por objetivo determinar o número de coletores que deve ser empregado para fornecer a energia necessária ao aquecimento do volume de água demandado. A área coletora é dada pela expressão:

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,901}{(PMDEE \times I_G)} \quad (\text{Eq. 19})$$

sendo:

A_{coletora} = área coletora, expressa em metros quadrados (m²)

I_G = valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em quilowattshora por metro quadrado dia (kWh/m².dia). De acordo com o ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2ª Edição de 2017, esse valor é de aproximadamente 4,50 kWh/m².dia

$PMDEE$ = produção média diária de energia específica do coletor solar, expressa em quilowatts hora por metro quadrado (kWh/m²), calculada através da expressão:

$$PMDEE = 4,901 \cdot (F_r T_{\alpha} - 0,0249 \cdot F_{rUL}) \quad (\text{Eq. 20})$$

sendo:

F_{rUL} = coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional).

$F_{rT\alpha}$ = coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional).

Para dimensionar a geração diária média de energia térmica do coletor (PMDEE) se faz necessário primeiro definir o modelo de coletor para o projeto e consultar suas variáveis de cálculo, classificadas pelo INMETRO. O modelo optado é o MC 15 Evolution da Bosch Termo tecnologia, da faixa Adentro da classificação do INMETRO do ano de 2016. Os valores das variáveis são $F_r(\alpha)_n$ com 0,71 e F_{rUL} com 5,92.

$$PMDEE = 4,901 \cdot (0,71 - 0,0249 \cdot 5,92) = 2,76 \text{ kW/m}^2.\text{dia}$$

FC_{instal} = fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar dado pela expressão:

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (\text{Eq. 21})$$

(para $15^\circ < \beta < 90^\circ$)

sendo:

β = inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, expressa em graus ($^\circ$)

$\beta_{recomendado}$ = inclinação ótima do coletor para o local de instalação, expressa em graus ($^\circ$) (Sugere-se que seja adotado o valor de módulo da latitude local $+10^\circ$).

γ = ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico, expresso em graus ($^\circ$)

Para determinar fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar é necessário informa que o coletor será instalado e orientado na residência com um desvio em relação ao Norte de 23° para Leste e inclinação com referência ao plano horizontal de 24°

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (24 - 34)^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times 23^2]}$$

$$FC_{instal} = 1,032$$

Área Coletora:

$$A_{coletora} = \frac{(4,354 + 0,653) \times 1,032 \times 4,901}{(2,76 \times 4,50)}$$

$$A_{coletora} = 2,039 \text{ m}^2$$

RESULTADO DA PARTE II – DIMENSIONAMENTO DO AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA:

O conjunto proposto trabalhou por meio de termos sifão pois a estrutura do involucrio continha as especificações para aguentar as cargas a mais e possui tamanho necessário para atender as áreas mínimas necessárias entre as peças, o que leva a permitir uma circulação espontânea.

Foi adotado o modelo de coletor solar do tipo placas planas por apresentar tecnologia madurecida e de fácil disponibilidade no mercado. Além de existir muitas marcas homologadas pelo INMETRO.

Foi adotado o modelo de ligação paralela entre os módulos coletores, uma vez que possibilitar um maior ganho em rendimento e apenas uma pequena perda de carga no conjunto.

Após dimensionar, é encontrado a necessidade de um boiler de água de volume maior ou igual a 124,5 L. A faixa de capacidade de litros no mercado a mais próxima da necessidade do sistema é o de 200 litros.

Além disso, segundo o fabricante, cada placa possui uma área de 1,5 metros quadrados, logo, serão necessárias 2 placas para atender a demanda, uma vez que a tem que se cobrir área coletora maior ou igual a 2,039m². O sistema montado fica como o da figura abaixo:

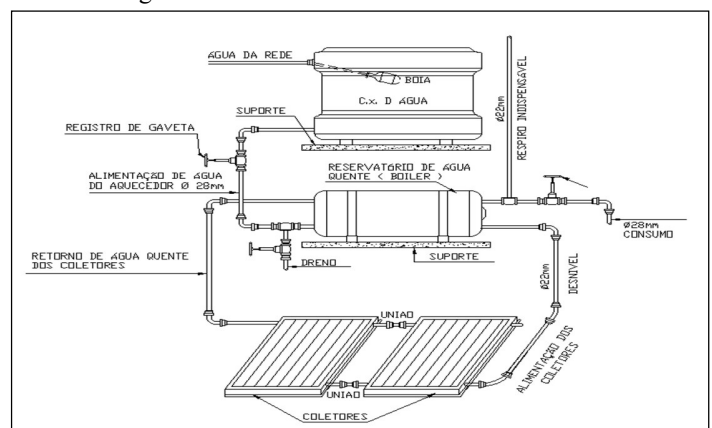


Figura 17 – Sistema Aquecedor Solar Montado.

Fonte: Autor, 2022.

TABELA 8
O CUSTO DE SISTEMA DE AQUECEDOR DE ÁGUA SOLAR ESTÁ REPRESENTADO NA TABELA ABAIXO:

Item	Valor
Reservatório 200 l b.p	R\$ 2.098,00
Coletores (2 placas)	R\$ 1.648,00
Kit flexível aquecedor	R\$ 190,00
Mat. hidráulicos (tubos, conexões, registros), instalação, frete	R\$ 4.000,00
TOTAL	R\$ 7.936,00

Fonte: Autor, 2022.

PARTE III – MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA E TEMPERATURA

O sistema de monitoramento trabalhou com as grandezas de Tensão e Corrente para realizar a análise do consumo da energia apresentando a potência consumida.

Seu sistema fica montado como mostrado na figura abaixo:

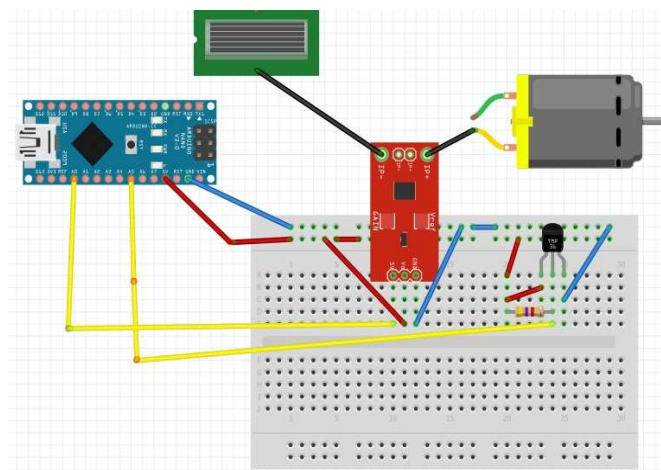


Figura 18 – Sistema de Montagem Eletrônica do Monitoramento de Consumo De Energia e Temperatura.

Fonte: Autor, 2022.

Para o desenvolvimento do sistema de monitoramento foi criado um código utilizando a linguagem de programação C/C++ e ESP32, este será responsável pela extração de dados dos sensores e apresentação de resultados de temperatura e potência.

Para isto também foi desenvolvido um protótipo do Sistema de Monitoramento que representa um Boiler, para demonstração do controle de temperatura da água e uma Lâmpada, para demonstração do monitoramento da energia.

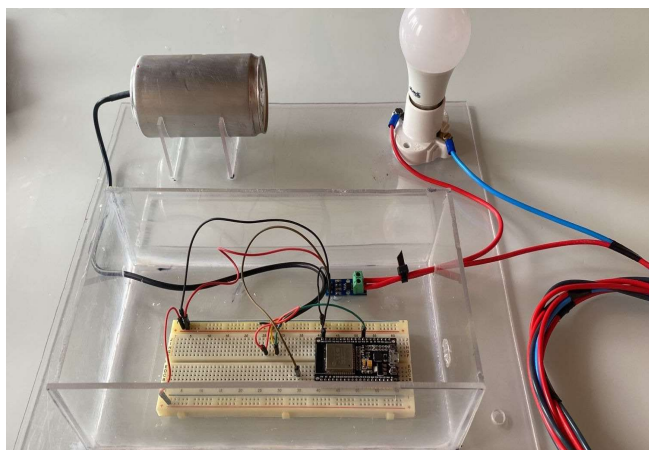


Figura 19 – Protótipo do Sistema de Monitoramento.

Fonte: Autor, 2022.

RESULTADO DA PARTE III – MONITORAMENTO

O monitoramento da energia foi trabalhado no sistema ESP32 e apresenta o valor da corrente e da potência lida na tela de acesso do *Serial Monitor*, seu resultado é apresentado como na figura:

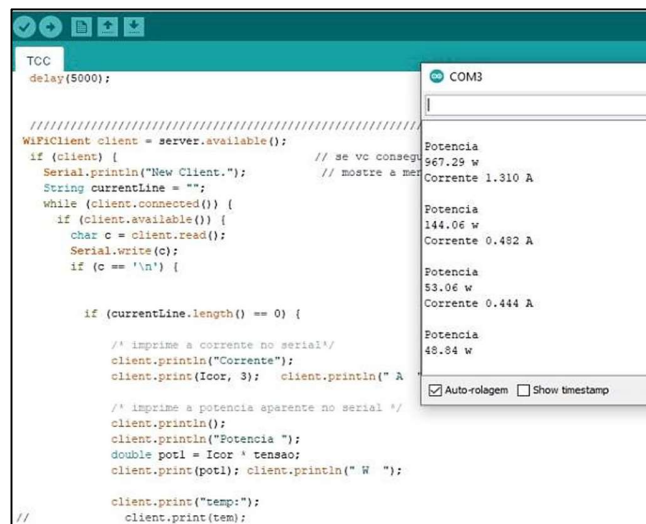


Figura 20 – Tela mostrando resultado do teste de Funcionamento do Monitoramento da Energia.

Fonte: Autor, 2022.

Anteriormente o sistema de ligação havia sido citado conforme a Figura 16, após a inclusão do monitoramento, o sistema de ligação no conjunto fotovoltaico fica atualizado conforme abaixo:

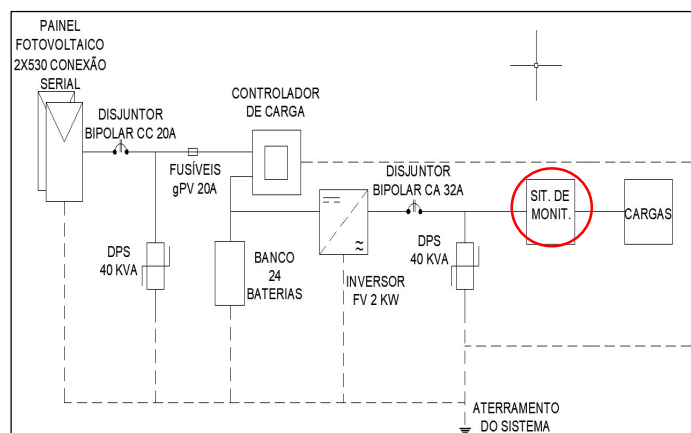


Figura 21 – Sistema de ligação no conjunto fotovoltaico.

Fonte: Autor, 2022.

O monitoramento da temperatura também foi trabalhado ainda no sistema ESP32 e apresenta o valor da temperatura lida na tela de acesso do *Serial Monitor*, seu sistema montado fica como mostrado na figura abaixo:

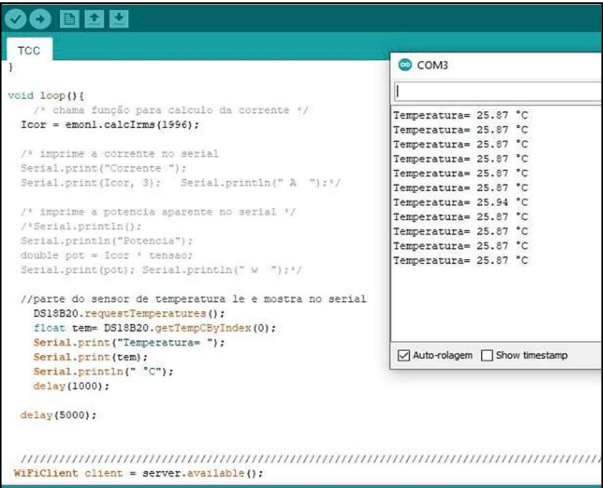


Figura 22 – Tela mostrando resultado do teste de monitoramento da temperatura, de água fria para quente.
Fonte: Autor, 2022.

Anteriormente o sistema solar de aquecimento havia sido apresentado na figura 17, após a inclusão do sensor de temperatura, o seu sistema de ligação no conjunto do aquecedor solar fica como o da imagem abaixo:

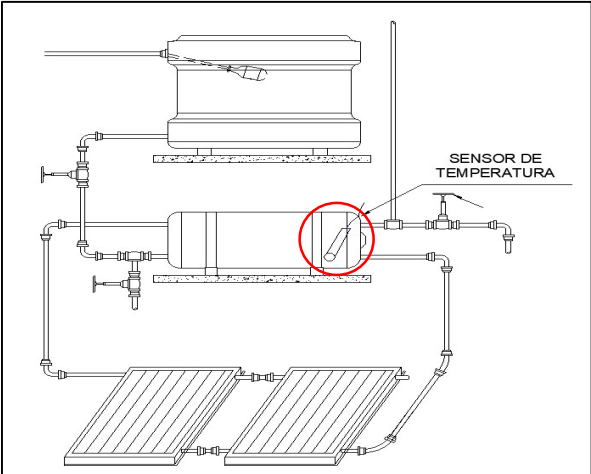


Figura 23 – Sistema de Ligação do Monitoramento da Temperatura no Aquecedor Solar.
Fonte: Autor, 2022.

O custo com o sistema de monitoramento pode ser visto na tabela 9 a seguir:

TABELA 9
O CUSTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO ESTÁ REPRESENTADO NA TABELA ABAIXO:

Item	Valor
Sensor de Temperatura	R\$ 20,00
Sensor de Corrente	R\$ 65,00
Placa de Comando	R\$ 120,00

Mat. Extra e instalação	R\$ 150,00
TOTAL	R\$ 355,00

Fonte: Autor, 2022.

V. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento contínuo do ramo de energia solar e de novas tecnologias, a microgeração de energia elétrica pessoal a base de células solares tornou-se uma das mais promissoras oportunidades de geração de eletricidade nas áreas rurais do Brasil, o que promove o desenvolvimento do ramo solar e o acesso à energia em residências isoladas em regiões não cobertas por redes elétricas convencionais, contribuindo ainda com a geração de uma matriz energética verde.

Através do sistema de banco de baterias é possível ter um acúmulo de carga em um local isolado e assim ter energia elétrica em períodos de clima desfavorável e no período de baixa geração. Porém, a energia produzida por células solares no sistema *off-grid* ainda possui barreiras a serem superadas como acessibilidade de valores e conhecimento sobre esta alternativa.

O Sistema fotovoltaico tem como vantagens a não poluição, é renovável, limpo, silencioso, necessita pouca manutenção e é de fácil instalação. Suas desvantagens são o alto custo de aquisição, principalmente por não gerar energia à noite e é necessário a construção de um banco de baterias que encarecem o sistema.

Esse trabalho de pesquisa teve como objetivo analisar um perfil de consumo de cargas de equipamentos elétricos e em cima deles trabalhar o dimensionamento para atender a residência em questão.

O sistema fotovoltaico apresentou um gasto de R\$ 60.996,00, porém com inúmeros benefícios já mencionados ao longo deste trabalho, sendo uma solução viável ao observar estes de forma ampla.

O Sistema de aquecimento solar de água, tem o valor de instalação de R\$ 7.936,00, em contrapartida, a longo prazo, é possível gerar uma economia de gás ou no corte de vegetação. Deve-se ressaltar que a adoção de um conjunto de aquecimento solar de água não é apenas adequada no âmbito econômico, mas constitui uma solução ambientalmente sustentável.

O sistema de monitoramento visa controlar o consumo da energia gerada pelo sistema fotovoltaico e assim ter controle do gasto, sendo possível programar o uso ou não de mais cargas ao longo de um determinado período.

Já o sistema de monitoramento da temperatura, serve para o acompanhamento da água no sistema de aquecedor solar. Com isso, os residentes podem monitorar a temperatura da água e assim podem decidir, de acordo com o clima e horário, a melhor maneira de administrar o uso de água quente. O sistema custou R\$ 355,00 reais para ser implementado.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASILTEC. **Catalogo de Produtos: Porta Fusível Fusível gPV**. São Paulo, 2020.
- [2] BRASILTEC. **Catalogo de Produtos: DPS CC**. São Paulo, 2022.
- [3] CIRCUITO, Portal Curto. **Sensor DS18B20**. 2021. 9 fotografia 5,49 x 8,41 cm. Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/como-utilizar-o-ds18b20>. Acesso em: 26 abr. 2022.
- [4] CURTOCIRCUITO, Portal. **Sensor ACS712**. 8 fotografia 5,53 x 7,15 cm. Disponível em: https://curtocircuito.com.br/pub/media/catalog/product/cache/ebf77fb58d795a2dbe3218c301c821c6/s/e/sensor_de_corrente_5adc_-_acs712_1_2.jpg. Acesso em: 26 abr. 2022.
- [5] CRESESEB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.
- [6] CRESESEB – CEPEL, “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, Rio de Janeiro, 2014.
- [7] CAPSISTEMA. **Placa Esp32**. 2022. 9 fotografia. 6,12 x 4,51 cm. Disponível em: <https://capsistema.com.br/wp-content/uploads/2021/07/figura-27.png>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- [8] ESCOLA, Brasil. **Aquecimento Solar de Água**. 6 fotografia. 9,01 x 8,18 cm. Disponível em: <https://s1.static.brasilecola.uol.com.br/be/e/termossifao.jpg>. Acesso em: 26 abr. 2022.
- [9] ENERGÊS. **Do Início ao Fim Sistema Solar Fotovoltaico Off-grid**. Disponível em: <https://energes.com.br/do-inicio-ao-fim-sistema-solar-fotovoltaico-off-grid/>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.
- [10] G1, Portal. **Painel Solar**. 2019. 1 fotografia. 500 x 375 pixels. Disponível em: [https://s2.glbimg.com/MntW5m0AZI9LVFYxBhMfT3jWfzI=/0x0:1000x669/984x0/smart/filters:strip_icc\(\)/i.s3.glbimg.com/v1/AUTH_59edd422c0c84a879bd37670ae4f538a/internal_photos/bs/2019/D/y/vhxFoASiG5TI7MSTsvYQ/foto-1.jpg](https://s2.glbimg.com/MntW5m0AZI9LVFYxBhMfT3jWfzI=/0x0:1000x669/984x0/smart/filters:strip_icc()/i.s3.glbimg.com/v1/AUTH_59edd422c0c84a879bd37670ae4f538a/internal_photos/bs/2019/D/y/vhxFoASiG5TI7MSTsvYQ/foto-1.jpg). Acesso em: 26 abr. 2022.
- [11] GREENPRO. **Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 18 de out. de 2022.
- [12] HODGE, B. K. **Sistemas e Aplicações de Energia Alternativa**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2011.
- [13] LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia Solar para Produção de Eletricidade**. São Paulo: Artliber Editora, 2012.
- [14] MINHACASASOLAR. **Controladores de carga: Diferenças entre as tecnologias MPPT e PWM**. Disponível em: <http://blog.minhacasasolar.com.br/controladores-de-carga/>. Acesso em: 21 de nov. de 2022.
- [15] MTC. **Atlas brasileiro de energia solar**. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>. Acesso em: 18 de out. de 2022.
- [16] MAPS, Google. **Residência do Projeto**. 2022. 7 fotografia. 4,13 x 8,17 cm. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/R.+Manuel+Sebastião+C3%A3o+-+Ferraz+de+Vasconcelos,+SP/@-23.5803943,-46.3577558,48m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x94ce70021592df0f0x1fa6fac8cd902dd2!8m2!3d-23.5753326!4d-46.3557836>. Acesso em: 26 abr. 2022.
- [17] NEOSOLAR. **Controlador de Carga**. 2022. 2 fotografia. 5,26 x 3,65 cm. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/media/catalog/product/cache/1/image/800x800/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/e/p/epever_xtra_1_3.jpg. Acesso em: 26 abr. 2022.
- [18] NEOSOLAR. **Inversor**. 2017. 3 fotografia. 3,56 x 5,04 cm. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-senoidal-epever-ipower-plus-ip2000-41-2000w-48-120v.html?gclid=CjwKCAjw-rOaBhA9EiwAUkLV4tG0gFZ9BVfKodxo27DsMd1YfuISk9_BL1bEBnAJLLWQefWfL0VxoC8BMQAvD_BwE. Acesso em: 26 abr. 2022.
- [19] NEOSOLAR. **Controlador de Carga**. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-carga-mppt-40a-12-24-36-48v-epever-xtra-4415n.html?gclid=Cj0KCQjwnbmaBhD-ARIsAGTPcfUJWoXZGwvdvaabSzFX6EudyYo7yygc-pwUbQJ4T2kOsDZ7h7ypFNgaAgJVEALw_wcB. Acesso em: 18 de out. de 2022.
- [20] NEOSOLAR. **Bateria Estacionária**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df4001-240ah-220ah.html>. Acesso em: 18 de out. de 2022.
- [21] NEOSOLAR. **Inversor**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-senoidal-epever-ipower-plus-ip2000-41-t-2000w-48-120v.html>. Acesso em: 18 de out. de 2022.
- [22] _____. **NBR 15569: sistema de aquecimento solar de água em circuito elétrico direto: projeto e instalação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- [23] PROUPS. **Banco de Baterias**. 2022. 4 fotografia. 6,12 x 4,51 cm. Disponível em: https://proups.com.br/media/cache/produto_380x506/uploads/images/5ae23ac898909.jpg. Acesso em: 03 jun. 2022.
- [24] PHB. **Módulos Fotovoltaicos**. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/produto/modulo-jinko-solar-jkm530m-72hl4-tv/>. Acesso em: 18 de out. de 2022.
- [25] RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.
- [26] SENAI. **Instalação de sistema de microgeração solar fotovoltaica**. São Paulo: SENAI-SP EDITORA, 2016.
- [27] SOLAR, Portal. **Sistema de Aquecimento Solar de Água**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-de-aquecimento-solar-de-agua.html>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.

[28] SILVA, Ennio Pares da. **Fontes renováveis de energia: produção de energia para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

[29] SOLAR, Portal. **Sistema de Energia Solar Off Grid**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.

[30] SUNDATA. **Base de dados sobre radiação solar no Brasil CRESESB**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.

[31] SHAREENERGY. **String Box**. 2017. 5 fotografia. 3,87 x 7,11 cm. Disponível em: <https://shareenergy.com.br/wp-content/uploads/2018/02/Sem-t%C3%ADulo-768x514.png>. Acesso em: 26 abr. 2022.

[32] SOLAR, Canal. **Os módulos FV devem ser orientados sempre para o Norte?**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/os-modulos-fv-devem-ser-orientados-sempre-para-o-norte/>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.

[33] SIN. **Sistema Interligado Nacional**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>

[34] VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Érica / Saraiva Editora, 2015.

APÊNDICE

GITHUB: <https://github.com/herbert1986/TCC-Engenharia-El-trica.git>