

## Transformação da Energia Solar em DC-AC

**Brenda P. Santos, Guilherme S. Trindade, Mayara R. Paraíso, Vitor J. Oliveira, Prof. Esp.**

**Marcos V. Zamboni**

**9brendapaulino@gmail.com, gtrindade49@gmail.com, mayararamos019@hotmail.com,**

**vitor-jesus2011@hotmail.com, mvzamboni@gmail.com**

Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo Adib Moisés Dib

São Bernardo do Campo, SP – Brasil

### Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de conversão de energia solar, utilizando uma configuração *off-grid* que converte a energia gerada pelos painéis solares de corrente contínua (DC) para corrente alternada (AC). O sistema visa oferecer uma solução sustentável e autônoma para alimentar dispositivos residenciais, como iluminação e refrigeração, contribuindo para a redução do consumo de energia da rede elétrica convencional. Além disso, o projeto inclui um sistema de *backup* com baterias para garantir o fornecimento contínuo, mesmo em períodos de baixa irradiação solar. Tecnologias como a placa eletrônica embarcada ESP32, inversores de tensão e protocolos de comunicação IoT foram integrados para otimizar a eficiência e monitoramento do sistema. Por fim, o projeto alcançou todos seus objetivos propostos, desde a integração dos componentes até a operação do sistema *off-grid*. A solução ofereceu não apenas autonomia energética, mas também maior confiabilidade em ambientes isolados ou em casos de falhas no fornecimento de energia elétrica, possibilitando uma forma autônoma que atende às necessidades energéticas previstas, demonstrando viabilidade para aplicações residenciais e comerciais.

**Palavras-chave:** Conversão. DC-AC. ESP32. Placa Fotovoltaica. Sistema Off-Grid. Sustentabilidade.

### Abstract

This paper presents the development of a solar energy conversion system, using an off-grid configuration that converts the energy generated by solar panels from direct current (DC) to alternating current (AC). The system aims to provide a sustainable and autonomous solution to

power residential devices, such as lighting and refrigeration, thus reducing the consumption of conventional grid electricity. Additionally, the project includes a *backup* system with batteries to ensure continuous supply even during periods of low solar irradiation. Technologies such as the ESP32 platform, voltage inverters, and IoT communication protocols were integrated to optimize the efficiency and monitoring of the system. Finally, the project achieved all of its proposed objectives, from the integration of components to the operation of the off-grid system. The solution provided not only energy autonomy, but also greater reliability in isolated environments or in the event of power outages, enabling an autonomous system that meets the anticipated energy needs, demonstrating viability for both residential and commercial applications.

**Keywords:** Conversion. DC-AC. ESP32. Off-Grid System. Photovoltaic Panels. Sustainability.

## 1. Introdução

Existem diversas fontes de energias sustentáveis como a solar térmica, fotovoltaica, eólica, oceânica e biomassa. No Brasil, a energia hidrelétrica ainda é amplamente utilizada, mas, nos últimos anos, tem-se voltado cada vez mais para outras fontes de energia renováveis como uma resposta às crescentes demandas (VILLALVA, 2015).

Entre as alternativas de energias sustentáveis, a energia solar, que é a radiação proveniente do Sol que é capturada e convertida em energia útil por meio de tecnologias fotovoltaicas ou térmicas, se destaca como uma das mais promissoras. Esta fonte abundante de energia oferece uma série de vantagens, desde sua disponibilidade inesgotável até seu caráter limpo e sustentável. Ao contrário dos combustíveis fósseis, a energia solar não emite gases de efeito estufa durante sua produção, reduzindo significativamente a pegada de carbono associada à geração de eletricidade (VILLALVA, 2015). A tecnologia fotovoltaica converte diretamente a luz solar em eletricidade por meio de painéis solares com células fotovoltaicas, possibilitando sua implementação em residências, empresas e instalações industriais.

Visando isso, o projeto busca utilizar energia solar através de painéis instalados no telhado da residência ou em áreas adjacentes, usando um dos seus modos, modo *off-grid*, ou seja, não devolve energia para a rede. Suas funcionalidades são alimentar componentes de um sistema residencial, como iluminação e alimentação de recursos essenciais, armazenar quando não está em uso, oferecendo assim uma solução mais sustentável para suprir a falta da energia convencional. Para garantir uma operação contínua, um sistema de *backup* permite a alternância da energia da rede convencional para a armazenada em uma bateria quando necessário. Essa abordagem não apenas promove uma fonte de energia limpa e renovável, mas também contribui

no incentivo de energias menos poluentes (VILLALVA, 2015). Além disso, a implementação de energia solar em edifícios comerciais e residenciais pode resultar em economia significativa nos custos de eletricidade a longo prazo, tornando-se uma opção atrativa tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental (KRUGER; ZANELLA; BARICHELLO, 2023).

## 2. Referencial Teórico

Neste referencial teórico, abordamos as células fotovoltaicas, suas classificações e os diferentes tipos disponíveis no mercado, como monocristalinas, policristalinas e de filme fino. Também são discutidos os sistemas fotovoltaicos de captação, que são essenciais para a conversão da energia solar em eletricidade. Além disso, são exploradas as tecnologias de comunicação, como MQTT e TCP/IP, que são fundamentais para a integração e monitoramento de sistemas fotovoltaicos em tempo real. Por fim, o uso do ESP32, uma placa eletrônica embarcada versátil e eficiente, será analisado em seu papel na automação e controle desses sistemas, destacando suas capacidades de conectividade e processamento.

### 2.1. Células Fotovoltaicas

A célula fotovoltaica é um mecanismo elétrico que converte a luz do Sol diretamente em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Para tal, essas células são fabricadas usando materiais, como o Silício Monocristalino, Silício Policristalino, Filme Fino, Seleneto de Cobre Índio e Gálio (CIGS) (PORTAL SOLAR, 2024).

O efeito fotovoltaico envolve o movimento de elétrons entre a banda de valência e a banda de condução. Para que um elétron se torne livre e possa conduzir eletricidade, ele precisa receber energia suficiente para superar o "*band gap*" – o intervalo de energia que separa essas duas bandas. Essa energia é proveniente da radiação solar, permitindo que os elétrons da banda de valência se elevem à banda de condução, resultando na geração de um elétron livre (PORTAL SOLAR, 2024).

As células fotovoltaicas são agrupadas para formar módulos fotovoltaicos, que utilizam o silício como semicondutor em sua composição. Para otimizar suas propriedades elétricas, o silício passa por um processo de "dopagem", no qual são introduzidas impurezas, como fósforo e boro. Esse processo altera a estrutura do silício e cria a junção-PN, essencial para o funcionamento das células (PORTAL SOLAR, 2024). Quando essas células são expostas à radiação eletromagnética dentro do espectro da luz visível, ocorre a estimulação do

semicondutor, gerando corrente contínua e possibilitando a conversão eficiente da energia solar em eletricidade (OLIVEIRA, 2021).

## 2.2. Tipos de Células Fotovoltaicas

Para este projeto, foram utilizadas placas solares de silício policristalino devido às suas vantagens técnicas e econômicas. Essas placas apresentam um custo médio de R\$ 800 a R\$ 1.200 por unidade de 330 Wp (Watt-pico), significativamente mais acessíveis que as de silício monocristalino, que podem custar até 50% a mais (CREMASCO, 2021). Embora a eficiência das policristalinas seja ligeiramente menor, variando de 13% a 15%, elas oferecem um excelente equilíbrio entre desempenho energético e viabilidade econômica, sendo ideais para projetos de médio porte (PORTAL SOLAR, 2024).

## 2.3. Sistemas Fotovoltaicos de Captação

Sendo assim, existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos de captação: *on-grid* e *off-grid*. *On-grid*, que significa “com grade/rede”, se refere a um sistema de captação que está integrado diretamente à rede pública, garantindo que a energia gerada seja bem aproveitada e para que não haja falta nem desperdício de energia. A energia gerada neste tipo de captação é encaminhada para os inversores, que equilibram o sistema e convertem a eletricidade das placas solares de corrente contínua para corrente alternada. Dessa forma, pode-se usar essa energia em seus aparelhos domésticos através das tomadas. No sistema *off-grid* a ideia é operar de forma independente, sem conexão com a rede pública, em outros termos, a unidade funciona de maneira autônoma, sem depender do fornecimento da companhia elétrica. Para isso o sistema utiliza baterias estacionárias que armazenam a eletricidade excedente gerada pelos painéis solares e, conseqüentemente, a energia que não é consumida é guardada nessas baterias. Deste modo, mesmo quando o sistema fotovoltaico não está produzindo energia, como noite ou em dias nublados e chuvosos, ainda pode-se usar a eletricidade armazenada. Assim como o sistema *on-grid*, o sistema *off-grid* também usa inversores eletrônicos para converter a energia e assim que capturada, ela pode ser usada normalmente. O excedente é armazenado como corrente alternada, o que facilita seu uso posterior. Além disso, as baterias estacionárias possuem um controlador de carga que protege o equipamento, evitando sobrecarga ou curto-circuito (WEG, 2024).

## 2.4. ESP32

O ESP32 é uma placa de eletrônica embarcada que contém um microcontrolador do tipo SoC (*System-on-a-Chip*) criado pela “Espressif Systems”, baseado no processador *Xtensa Dual-Core* de 32 *bits*. É amplamente utilizado em projetos de IoT (*Internet of Things*), robótica e automação residencial, devido ao seu suporte para Wi-Fi e *Bluetooth 4.2*, além de “*Bluetooth Low Energy*” (BLE). Possui diversas interfaces periféricas, como SPI (*Serial Peripheral Interface*), I2C (*Inter-Integrated Circuit*), UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), PWM (*Pulse Width Modulation*) e ADC (*Analog-to-Digital Converter*), o que o torna muito adaptável. Com muitos pinos de entrada/saída, pode controlar sensores, displays e motores, além de contar com memória flash e SRAM (*Static Random-Access Memory*) que podem ser ampliadas com cartões SD (*Secure Digital*) (USINA INFO ELETRÔNICA & ROBÓTICA, 2024).

Uma parte significativa dos benefícios do ESP32 está ligada ao fato de sua programação ser intrinsecamente integrada ao *FreeRTOS* (*Free Real-Time Operating System*), um Sistema Operacional de Tempo Real. Isso possibilita a criação de ambientes com elevado nível de paralelização e complexidade de maneira confiável e muito robusta (MORAIS, 2023).

Com um hardware potente e uma grande comunidade de usuários, existem várias maneiras de programá-lo, algumas opções são: Assembly, C, C++, Rust, MicroPython, LUA, JavaScript, Go etc. A programação em C++ é realizada através do ambiente Arduino ou do ESP-IDF, o SDK (*Software Development Kit*) oficial da “Espressif”. Há também diversas bibliotecas e exemplos que facilitam o desenvolvimento (USINA INFO ELETRÔNICA & ROBÓTICA, 2024).

## 2.5. MQTT

O protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) teve sua origem nos anos 90 com o interesse de uma rede mais leve e que se comunicasse com diversos microcontroladores, impulsionando a criação de uma nova rede, a Internet das Coisas (IoT). Sua estrutura é constituída entre um “*broker*” e seus “*clients*”. O *broker* é um servidor que recebe os dados dos sensores e trata os sinais e envia aos seus determinados clientes, cada rede MQTT pode conter diversos brokers de acordo com a necessidade. Os clientes (*clients*) podem desempenhar a função de receber dados (*subscriber*), publicar (*publisher*) ou ambas de acordo com a sua necessidade, mas sempre necessário um broker para intermediar (HILLAR, 2017).

## 2.6. TCP/IP

O TCP/IP é um conjunto de protocolos que permite a comunicação entre computadores e servidores, formando a base da Internet. Composto pelo Protocolo de Controle de Transmissão (TCP), responsável pela transmissão de dados, e pelo Protocolo de Internet (IP), que identifica os dispositivos, o TCP/IP opera em várias camadas que trabalham em conjunto para assegurar a integridade e segurança da transmissão de dados.

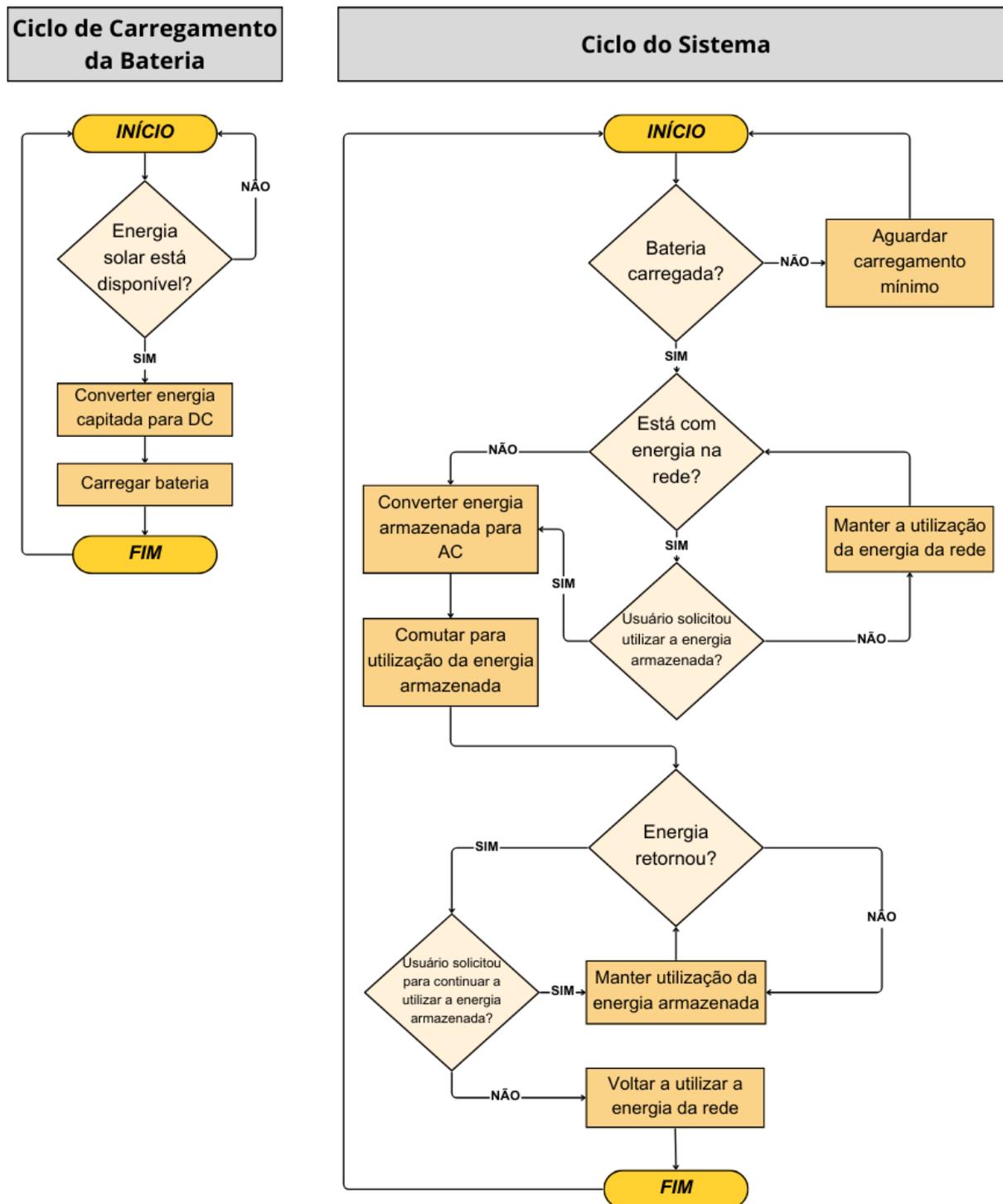
A divisão em camadas possibilita uma transmissão padronizada e independente dos dispositivos, garantindo compatibilidade com diferentes sistemas e arquiteturas. A camada de aplicação, por exemplo, refere-se aos programas e protocolos utilizados para iniciar a transmissão de dados, como HTTP para navegadores e SMTP para e-mails. Já a camada de transporte, representada pelo TCP, estabelece os canais de comunicação e garante que os dados sejam transmitidos de forma íntegra. A camada de rede, por sua vez, lida com a transformação dos pacotes de dados em datagramas e o envio deles aos destinos corretos, enquanto a camada de interface lida com a transferência física dos dados entre os dispositivos conectados (COMER, 2013, p.231).

## 3. Desenvolvimento

### 3.1. Objetivo e Funcionamento do Sistema

O objetivo principal é gerar e armazenar energia solar para ser utilizada em casos de falha no fornecimento de energia pela rede elétrica convencional, alternando para o sistema *off-grid*. Inicialmente, a energia solar é captada através de painéis solares, que convertem a luz solar em energia elétrica. Esta energia é então encaminhada para um sistema de armazenamento, geralmente composto por baterias de alta capacidade, que asseguram a garantia de energia disponível, mesmo quando a geração solar não é viável, como à noite ou em dias nublados. Em complemento, é implementado um sistema de comunicação MQTT para fazer o elo entre o ESP32 que coleta os dados, processa e o envia ao aplicativo, garantindo a visualização em tempo real das informações críticas de funcionamento dos sensores. Isso proporciona ao usuário maior supervisão e segurança. A figura 1 ilustra o fluxograma que descreve o funcionamento deste projeto, destacando as etapas e decisões tomadas durante o desenvolvimento.

Figura 1 - Fluxograma



Fonte: Autoria própria, 2024

A figura 1 apresenta dois fluxogramas, o primeiro fluxograma, chamado de Ciclo de Carregamento da Bateria, tem a função de verificar o processo de captação de energia solar. O sistema verifica se há disponibilidade de energia solar, caso exista, a energia captada é convertida para corrente contínua (DC) e utilizada para carregar a bateria, caso contrário, o ciclo

reinicia até que a energia solar esteja disponível. O segundo fluxograma, chamado de Ciclo do Sistema, tem a função de verificar o funcionamento da energia entre a bateria e a rede elétrica. Inicialmente, o sistema verifica se a bateria está carregada, se não estiver, aguarda o carregamento mínimo antes de prosseguir. Em seguida, avalia se há energia disponível na rede elétrica, se não houver, converte a energia armazenada na bateria para corrente alternada (AC) e comuta para sua utilização, se houver energia da rede disponível, mantém o uso da rede elétrica, salvo quando o usuário solicita o uso da energia armazenada. O sistema permite que o usuário decida se quer continuar usando a bateria ou retornar à energia da rede.

### 3.2. Programação

A implementação de um sistema de controle utilizada no ESP32 para monitoramento e comutação de fontes de energia foi desenvolvida usando a linguagem de programação C++ e a IDE do Arduino. O código inclui a integração com um cliente MQTT para troca de mensagens e leitura de sensores. A seguir, apresenta-se um trecho do código utilizado para configurar o ESP32 para se conectar a uma rede Wi-Fi e gerenciar mensagens MQTT:

```
//função callback é chamada sempre que uma mensagem é recebida via MQTT.
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
//imprime no monitor serial o tópico do qual a mensagem chegou.
    Serial.print("Message arrived [");
    Serial.print(topic);
    Serial.print("] ");
    String msg = "";
// bytes da mensagem é convertido para caracteres (char), acumulando-os
na variável msg. e imprime cada caractere no monitor serial.
    for (unsigned int i = 0; i < length; i++) {
        msg += (char)payload[i];
        Serial.print((char)payload[i]);
    }
    Serial.println();
// verifica se o tópico da mensagem é o esperado.
    if (String(topic) == "controle/comutacao") {
```

```
// verifica o conteúdo da mensagem e executa ações com base no valor recebido: Se a mensagem for "1" ativa a comutação, e se a mensagem for "0" desativa a comutação.
```

```
    if (msg == "1") {  
        mqtt_comutacao = true;  
    } else if (msg == "0") {  
        mqtt_comutacao = false;  
    }  
}  
}
```

### 3.3. Integração do Sistema e Monitoramento

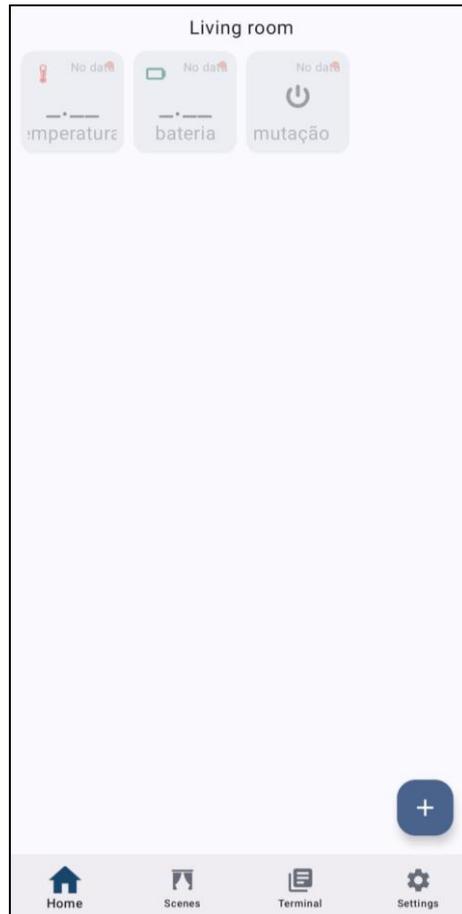
A comunicação no projeto é estabelecida utilizando o servidor Mosquitto<sup>1</sup>, que atua como um *broker* MQTT. O ESP32 é configurado como um *"publisher"*, enviando dados para o servidor, enquanto o aplicativo MQTT no celular ou computador atua como um *"client"* que recebe essas informações. A escolha da plataforma ESP32 se justifica pelas suas vantagens significativas em termos de processamento e conectividade. Com um processador *dual-core* de 32 *bits* e *clock* de até 240 MHz, além de suporte a Wi-Fi e *Bluetooth*, o ESP32 se destaca por suas capacidades de processamento e conectividade (USINA INFO ELETRÔNICA & ROBÓTICA, 2024).

O aplicativo alterna entre o sistema *off-grid* e a energia da rede, a implementação de um sistema supervisorio permitirá monitorar o desempenho dos painéis solares, o nível de carga das baterias e a condição da rede elétrica. Além disso, o sistema é capaz de realizar ações automáticas, como a comutação entre a energia solar armazenada e a energia da rede. A figura 2 demonstra a tela inicial do aplicativo *"MQTT Client"*, mostrando as opções de configuração e a interface de conexão com o servidor MQTT.

---

<sup>1</sup> O servidor **Mosquitto** é um projeto desenvolvido e mantido pela **Eclipse Foundation**, uma organização sem fins lucrativos que apoia projetos de código aberto.

Figura 2 - Tela inicial aplicativo “MQTT Client”



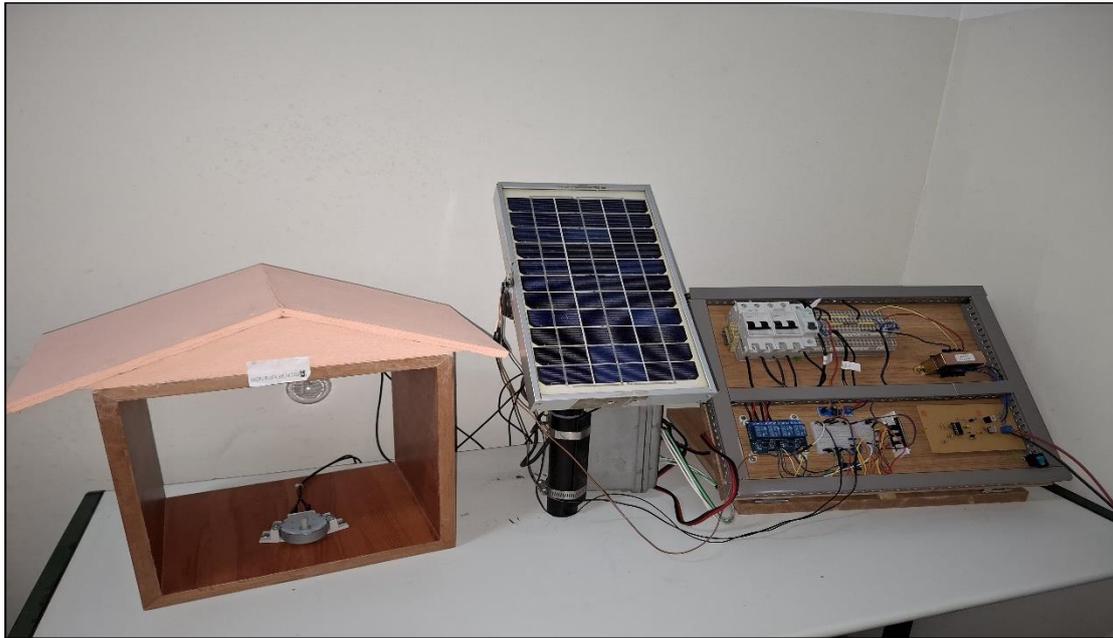
Fonte: Autoria própria, 2024

### 3.4. Painel Elétrico e Maquete

Foi elaborada uma maquete com o propósito de simular o ambiente de uma residência, incorporando elementos como uma lâmpada e um motor 220 V para simular uma geladeira. Esses componentes foram incorporados para demonstrar a eficiência e confiabilidade do sistema permitindo testar o sistema em condições que simulam o consumo real.

Além disso, foi confeccionado um painel elétrico para centralizar e organizar os elementos elétricos, facilitando o monitoramento e a manutenção do sistema de forma segura e eficiente. Um dos itens essenciais para o circuito foram os disjuntores de proteção para a placa solar, o inversor de tensão e as cargas, de forma a prevenir curto-circuito e sobrecargas. Também neste painel estão posicionados os bornes de alimentação/distribuição, os relés de comutação do sistema, a placa de conversão DC-AC com o transformador 12/220 V, e os sensores de tensão (um DC e outro AC) e temperatura que são interligados pela protoboard e alimentados pelo ESP32. No protótipo apresentado na figura 3, é possível observar a integração dos componentes do projeto.

Figura 3 - Imagem do projeto



*Fonte: Autoria própria, 2024*

### **3.5. Placa de conversão DC-AC**

A placa de conversão DC-AC é um dispositivo composto por diversos componentes eletrônicos, detalhados na Tabela 1, que apresenta os valores e especificações dos elementos utilizados na PCB (*Printed Circuit Board*). O projeto foi planejado para maximizar o custo-benefício, com um investimento total de R\$ 230,68 para os materiais e componentes essenciais. Em comparação, a aquisição de um kit novo com especificações similares custaria, em média, R\$ 810,00, evidenciando a economia significativa alcançada no desenvolvimento deste trabalho.

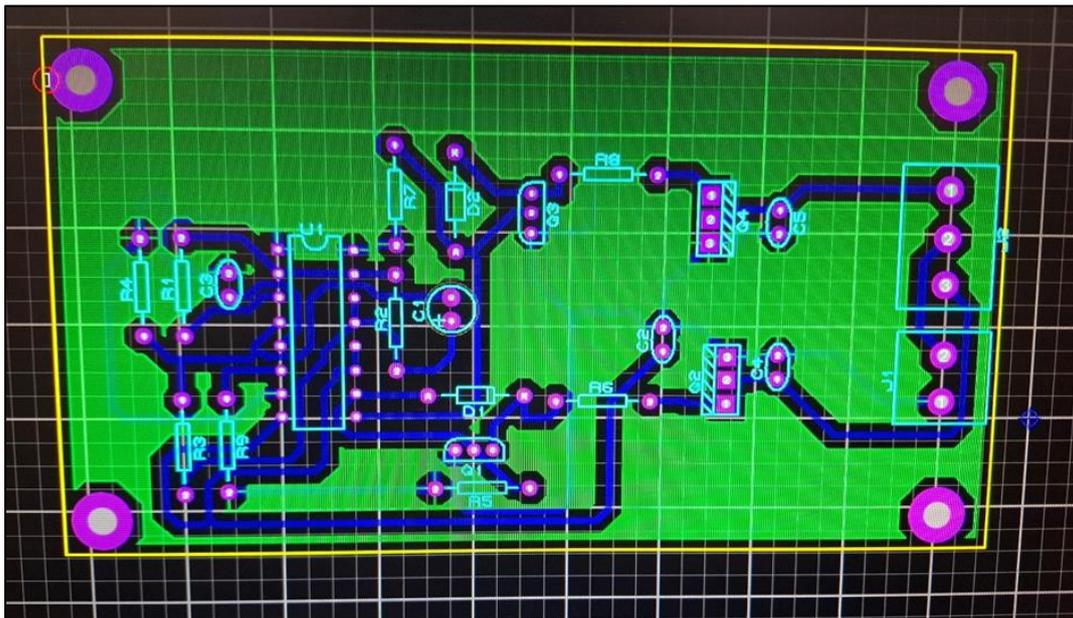
Tabela 1 - Tabela com a lista de componentes eletrônicos da PCB

COMPONENTES	ESPECIFICAÇÕES	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
CAPACITORES	1 x 22 $\mu$ F	0,23	0,23
	3 x 100nF	0,31	0,93
	1 x 22nF	0,42	0,42
CIRCUITO INTEGRADO	1 x TL494	3,91	3,91
CONECTOR BLOCO TERMINAL	1 x TBLOCK-12	1,56	1,56
DIODOS	2 x 1NA148	0,21	0,42
RESISTORES	2 x 47K / 1 x 22K / 1 x 4K7 / 2 x 1K / 2 x 100R / 1 x 390K	0,21	1,89
TRANSISTORES	2 x BC557AP	0,42	0,84
	2 x IRF3205	9,79	19,58

Fonte: Autoria própria, 2024

A placa foi projetada utilizando o software Protheus 8, que possibilita a simulação de circuitos eletrônicos, juntamente com a ferramenta Ares, responsável pelo design e pela montagem eficiente da placa de circuito impresso (PCB). A figura 4 ilustra o layout final da placa de conversão, desenvolvido no Ares. Com o esquemático desenvolvido no Protheus, procedeu-se para a construção do protótipo físico.

Figura 4 - Layout da placa de conversão no Ares



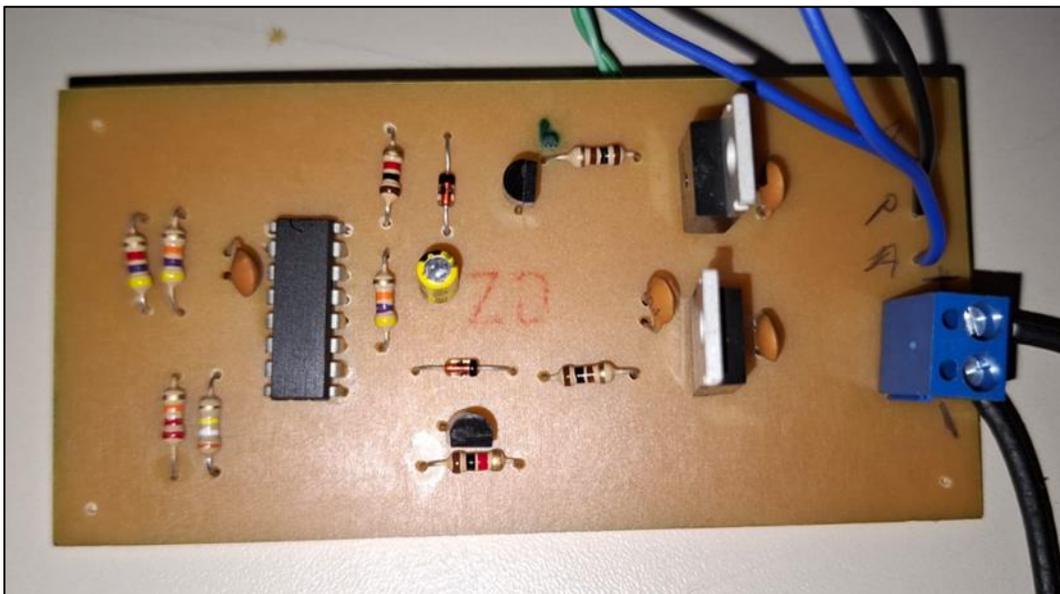
Fonte: Autoria própria, 2024

A construção do protótipo físico foi projetada seguindo 5 etapas:

- **Termo transferência:** Limpou-se o lado cobreado da placa com palha de aço para remover impurezas e garantir melhor fixação do papel impresso. Em seguida, utilizou-se o ferro de passar roupa para transferir o desenho do papel para a placa;
- **Corrosão:** A placa de fenolite foi imersa em uma solução aquosa de Perclorato de Ferro ( $\text{FeCl}_3$ ) por 40 minutos, sob agitação constante. Após o processo, a placa foi lavada com água corrente para remover o excesso de solução e, então, secada. Para expor as trilhas de cobre e remover a tinta residual, foi utilizada palha de aço;
- **Proteção contra oxidação:** Aplicaram-se duas demãos de verniz sobre a placa para evitar a oxidação do cobre exposto;
- **Furação:** A perfuração dos furos foi realizada manualmente com um perfurador de PCI, posicionando-os ao redor dos *pads*, conforme o layout da placa;
- **Soldagem:** Após a perfuração, os componentes foram soldados à placa utilizando ferro de solda, conforme o layout elaborado no software Ares.

A Figura 5 apresenta a versão final da placa de circuito impresso (PCI).

Figura 5 - Placa de conversão DC-AC finalizada



Fonte: Autoria própria, 2024

## 4. Testes e Resultados

Durante o desenvolvimento, houve desafios relacionados ao uso das ferramentas e à obtenção de materiais de estudo, mas, após ajustes e testes, foi possível estabelecer uma comunicação eficiente entre os dispositivos, garantindo a transmissão correta das informações.

### 4.1. Teste de Comunicação MQTT

Os desafios relacionados à comunicação MQTT surgiram principalmente devido à complexidade da programação utilizando o *prompt* de comando (CMD). Além disso, houve dificuldades com a identificação e configuração do endereço IP e da porta de entrada necessária para passar pelo *firewall*.

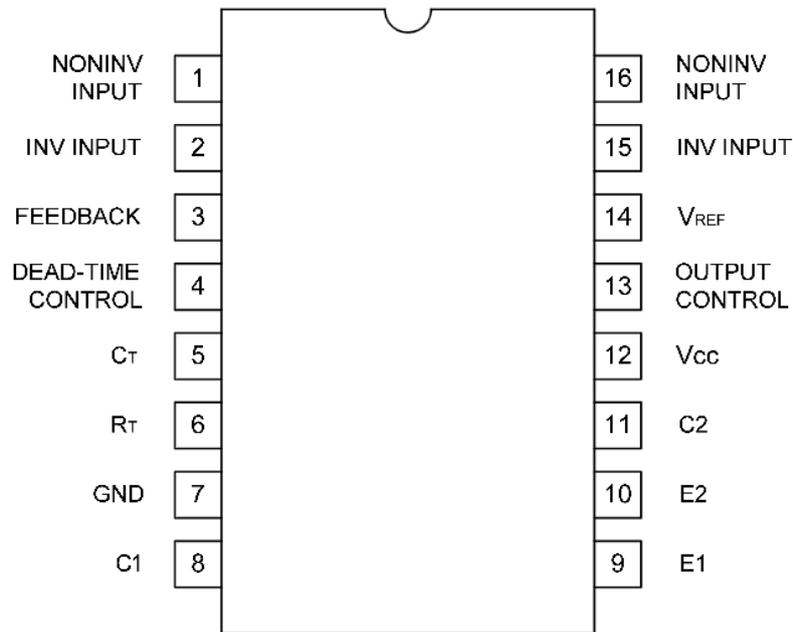
Outro desafio enfrentado foi a configuração do aplicativo, que inicialmente apresentava pouca documentação de suporte, exigindo muitos testes e a aplicação de diferentes ideias até que a configuração correta fosse alcançada.

A solução foi facilitada com o auxílio de vídeos do YouTube e da IA Gemini, que ajudaram a superar as dificuldades e permitiram que o projeto avançasse. Em resultado, foi possível estabelecer com sucesso a comunicação entre o ESP32, o computador, a rede Wi-Fi e o aplicativo, formando uma rede funcional e completa.

### 4.2. Teste de Funcionamento da Placa de conversão DC-AC

Primeiramente, foi conectado o cabo de entrada de alimentação da placa de conversão à saída de alimentação da bateria. Em seguida, consultou-se o *datasheet* do circuito integrado TL494 para identificar quais os pinos responsáveis por receber a tensão positiva e negativa de alimentação. De acordo com as informações fornecidas no *datasheet*, o pino 12 corresponde ao Vcc (tensão positiva) e o pino 7 ao GND (terra), conforme ilustrado na Figura 6, que apresenta a configuração dos pinos do componente.

Figura 6 - Imagem do datasheet do CI TL494



Fonte: AllDataSheet.com, 2024

Com o sistema devidamente energizado, foi feita à medição entre os pinos 12 (VCC) e 7 (GND) do circuito integrado, a fim de verificar se o CI (Circuito Integrado) estava recebendo a tensão de entrada corretamente. Esse resultado garante que a placa de conversão está corretamente energizada e pronta para desempenhar sua função de conversão.

O secundário do transformador possui três condutores: duas fases e um terra, e cada condutor foi conectado ao seu respectivo borne. Para verificar a saída de tensão do transformador, realizou-se a medição com um multímetro. Esse valor confirma que o transformador está operando corretamente, com a saída de tensão conforme especificado, garantindo o funcionamento adequado do sistema.

### 4.3. Teste de Rede de Alimentação

Após a montagem da maquete e do painel elétrico, foi realizado o teste de continuidade para verificar o funcionamento correto e a distribuição da rede elétrica. Com o sistema energizado, foram efetuadas medições nos disjuntores, resultando em uma leitura de 110 V para o circuito de iluminação e 220 V para o motor. Esses valores confirmam que o sistema está operando dentro dos parâmetros normais, assegurando tanto a funcionalidade quanto a segurança do conjunto elétrico. Esses resultados foram posteriormente verificados com a ativação dos componentes.

## 5. Considerações Finais

Para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), foi necessário um investimento de R\$ 230,68, que cobriu os custos de materiais e componentes essenciais. Conseguimos o empréstimo de uma placa solar, o que possibilitou o desenvolvimento do projeto sem a necessidade de aquisição de um novo equipamento, caso uma pessoa fosse adquirir um kit novo de placas solares com as especificações parecidas utilizadas neste projeto, o valor estimado para a compra seria de aproximadamente R\$ 810,61, considerando os preços do mercado atual.

O projeto atingiu os objetivos estabelecidos em sua concepção e atendeu às expectativas de desempenho da placa de conversão DC-AC. Por exemplo, a placa conseguiu realizar a conversão de 12 V/DC para 220 V/AC com eficiência de até 85%<sup>2</sup>, garantindo um desempenho estável mesmo sob variações na carga conectada. Além disso, o circuito integrado TL494 e os transistores IRF3205 demonstraram boa capacidade de controle e comutação, mantendo a tensão de saída dentro dos limites previstos para alimentar dispositivos como lâmpadas e pequenos eletrodomésticos. Com isso, o sistema contribui para a viabilidade de soluções *off-grid* em ambientes residenciais e comerciais, proporcionando maior autonomia energética e reduzindo a dependência da rede elétrica, ao mesmo tempo em que oferece uma solução confiável para eventuais interrupções no fornecimento de energia.

Como aprimoramento, o aplicativo pode ser expandido com a adição de mais botões que aumentem a interatividade e o controle do usuário. Além disso, incluir opções avançadas de supervisão, como a configuração de alarmes para notificar eventos críticos, elevaria a funcionalidade do sistema. Outra possibilidade de melhoria seria a integração com outros sistemas de supervisão (SCADA ou plataformas de IoT), permitindo um monitoramento mais abrangente e a centralização das informações em uma interface unificada. Essa expansão proporcionaria maior flexibilidade, segurança operacional e capacidade de resposta em tempo real.

---

<sup>2</sup> Potência de saída (AC)=Potência de entrada (DC)×Eficiência.  
Potência de saída (AC)=12W×0,85=10,2W.

## REFERÊNCIAS

ALLDATASHEET.COM. **Texas Instrument.** TL494 Datasheet. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/28816/TI/TL494.html>. Acesso em: 30 out. 2024

COMER, Douglas E. **Internetworking with TCP/IP Volume One: Principles, Protocols, and Architecture.** 6 ed. New Jersey: Pearson, 2013. p.231.

CREMASCO, Nicole Polityto et al. **Estudo de diferentes tecnologias de células fotovoltaicas.** 33 ed. Medianeira: Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/recit/article/view/015052>. Acesso em: 20 ago. 2024.

HILLAR, Gaston C. **MQTT Essentials - A Lightweight IoT Protocol: Send and receive messages with the MQTT protocol for your IoT solutions.** 1 ed. Reino Unido: Packt Publishing, 2017. p.25.

KRUGER, Silvana D.; ZANELLA, Cleunice; BARICHELLO, Rodrigo. Análise da viabilidade econômico-financeira para implantação de projeto de produção de energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural. **Revista de Gestão e Secretariado**, 1 ed. São Paulo, v.14, n.1, p.428-445. 2023.

MORAIS, José V. S. **ESP32 com IDF: O Guia Profissional.** 1 ed. São Paulo: Editora NCB, 2023, p.8.

OLIVEIRA, Marco Antônio J. S. **Estudo Comparativo entre Células Solares Perovskita e Silício.** 2021. p.14. Trabalho (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Politécnico da PUC Minas, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Contagem, 2021.

PORTAL SOLAR. **Célula fotovoltaica:** tudo o que você precisa saber. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>. Acesso em: 15 ago. 2024.

PORTAL SOLAR. **Painel solar:** o que é, como funciona e tipos. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/painel-solar>. Acesso em: 11 nov. 2024.

USINA INFO *ELETRÔNICA & ROBÓTICA*. **O que é o ESP32?**. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/esp32-611>. Acesso em: 30 mai. 2024.

VILLALVA, Marcelo G. **Energia Solar Fotovoltaica**: Conceitos e aplicações. 2 ed. São Paulo: Érica, 2015, p.12.

WEG. **Sistema Fotovoltaico on-grid e off-grid**: saiba as diferenças e as vantagens de cada tipo. Disponível em: <https://www.weg.net/solar/blog/sistema-fotovoltaico-on-grid-e-off-grid-saiba-as-diferencas-e-as-vantagens-de-cada-tipo/>. Acesso em: 20 ago. 2024.