

SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BAIXO CUSTO INICIAL PARA FAMÍLIAS DE BAIXA RENDA

Beatriz Gomes Medeiros¹; Fernanda Gomes Medeiros²; Kimberlly da Silva Neves³; Lorena Araújo dos Santos⁴; Ana Cecília Fernandez dos Santos⁵; Eduardo José de Araújo⁶ e Marlon Lucas Gomes Salmento⁷

1 Beatriz Gomes Medeiros, Bolsista (CNPq, PIBIC-Jr), Curso Técnico Integrado em Automação Industrial, IFMG *Campus* Avançado Itabirito, Itabirito – MG; beatrizmedeiros0703@gmail.com

2 Fernanda Gomes Medeiros, Voluntária, Curso Técnico Integrado em Automação Industrial, IFMG *Campus* Avançado Itabirito, Itabirito – MG; fernandagomesmedeiros94@gmail.com

3 Kimberlly da Silva Neves, Voluntária, Bacharelado em Engenharia Elétrica, IFMG *Campus* Avançado Itabirito, Itabirito – MG; kimberlly.neves00304@gmail.com

4 Lorena Araújo dos Santos, Bolsista (PIBIT), Bacharelado em Engenharia Elétrica, IFMG *Campus* Avançado Itabirito, Itabirito – MG; lorena.araujo751@gmail.com

5 Ana Cecília Fernandez dos Santos, Pesquisadora do IFMG, IFMG *Campus* Avançado Itabirito, Itabirito – MG; ana.fernandez@ifmg.edu.br

6 Eduardo José de Araújo, Pesquisador do IFMG, IFMG *Campus* Avançado Itabirito, Itabirito – MG; eduardo.araujo@ifmg.edu.br

7 Marlon Lucas Gomes Salmento, Pesquisador do CEFET-MG, CEFET-MG Leopoldina – MG, marlon.salmento@cefetmg.br

RESUMO

O projeto *Sistema Fotovoltaico de Baixo Custo Inicial para Famílias de Baixa Renda* objetiva viabilizar a implementação da energia solar fotovoltaica para famílias com menor poder aquisitivo, através de um sistema com telhas solares fotovoltaicas e um estudo de viabilidade econômica. A proposta para atingir esse objetivo é a substituição dos painéis fotovoltaicos utilizados em um sistema convencional por telhas solares fotovoltaicas, que possuem, como principal vantagem, o fato de poderem ser implementadas ao sistema elétrico gradativamente, diminuindo assim o custo inicial do projeto fotovoltaico. Neste sentido, a metodologia empregada para atingir os objetivos consiste em desenvolver um protótipo de uma casa com telhado solar, sendo a telha fotovoltaica construída com mini painéis fotovoltaicos acoplados a uma telha ecológica convencional. Além disso, tem-se a construção e desenvolvimento de um inversor com ampla faixa de tensão de entrada, um estudo da viabilidade econômica do projeto e o desenvolvimento da instrumentação, a fim de monitorar a energia produzida e a eficiência do sistema. Nessa parte, são utilizados vários tipos de sensores, sendo eles: sensor de temperatura, sensor de corrente e sensor de tensão. O projeto ainda está em andamento, sendo executadas as últimas etapas. Desta forma, os resultados obtidos até então são: a construção do protótipo da casa, a montagem do telhado solar, a construção do circuito de instrumentação e o estudo de viabilidade econômica. Portanto, está em andamento a construção do inversor sendo que, na simulação, foram obtidos resultados positivos. Espera-se que o objetivo principal de viabilizar energia solar para famílias de menor poder econômico seja atingido, uma vez que o projeto é de suma importância social e ambiental.

PALAVRAS-CHAVES:

Sistema Fotovoltaico (FV), Telha Solar, Baixa Renda.

INTRODUÇÃO

Com a preocupação ambiental e a escassez dos recursos naturais utilizados para obtenção de energia elétrica, as fontes renováveis ganham cada vez mais espaço no mercado energético. Uma das opções é a energia fotovoltaica, que utiliza a conversão da energia solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico. Esta fonte alternativa de energia, necessita de dois equipamentos principais para seu funcionamento, os módulos fotovoltaicos e os inversores. Estes dois equipamentos, por serem onerosos, fazem com que o custo inicial de implantação do sistema seja elevado, podendo assim inviabilizar a aquisição do sistema por famílias de baixa renda. Neste contexto, uma solução para este problema é a substituição dos módulos fotovoltaicos por telhas solares fotovoltaicas, que possuem a vantagem de geração de energia de forma gradual, reduzindo assim os custos iniciais de implantação do sistema. Desta forma, verifica-se na literatura

trabalhos que desenvolvem sistemas com telhas solares fotovoltaicas, além de analisar sua viabilidade econômica.

Por exemplo, em Justo (2018) um estudo de caso é desenvolvido com o objetivo de analisar a viabilidade técnico econômica de telhas fotovoltaicas. Em Khider e Genaro (2021) também é apresentado um estudo de viabilidade econômica, realizando uma comparação entre os sistemas convencionais e os sistemas com telhas solares. Já em Barbosa (2016) um protótipo de telha fotovoltaica é construído a partir do acoplamento de células fotovoltaicas diretamente em telhados de zinco. Neste trabalho, após a montagem do protótipo, medições de temperatura e tensão são realizadas a fim de verificar a eficiência do sistema. Outra proposta é apresentada em Bodão (2014) onde telhas fotovoltaicas são construídas com resíduos de construção e demolição.

Neste contexto, este projeto intitulado como *Sistema Fotovoltaico de Baixo Custo Inicial para Famílias de Baixa Renda* consiste no estudo do desenvolvimento de um sistema fotovoltaico que seja acessível à população de baixa renda, através da utilização de uma telha ecológica convencional do tipo *Onduline* associada à mini painéis fotovoltaicos e conversores de potência com ampla faixa de tensão de entrada, de forma a permitir baixos e altos valores de potências. Deste modo, o inversor possibilita a implementação de telhas fotovoltaicas ao sistema fotovoltaico de forma gradativa, o que diminui o investimento inicial, evita gastos com suportes de fixação para o telhado e propicia a implementação de um sistema de energia renovável sem a necessidade de financiamento.

METODOLOGIA

Além de seguir o cronograma pré-estabelecido da melhor forma possível, para melhor distribuição das tarefas, o projeto foi dividido em 5 grandes etapas: i) construção da maquete; ii) construção da telha solar; iii) construção do circuito de potência; iv) construção do circuito de instrumentação e v) Estudo da Viabilidade Econômica.

1) Construção da maquete

Essa etapa consiste na elaboração de pesquisas para definir o design, dimensões e melhor material para utilização no protótipo, considerando o custo-benefício. Primeiro, foram elaborados vários projetos arquitetônicos da maquete da casa até o projeto final, utilizando o software *AutoCad*. Com relação às dimensões, o primeiro passo foi a definição da telha a ser adquirida, para então se realizar associação com o tamanho do protótipo. Para a altura definiu-se a inclinação necessária para a instalação do painel fotovoltaico.

2) Construção da telha solar

Esta etapa consistiu na construção de um protótipo que substituísse a telha solar convencional, uma vez que, no Brasil, ainda há restrição para a aquisição da mesma. Sendo assim, primeiro é definido o modelo e o material da telha e, posteriormente, a tensão e potência dos painéis fotovoltaicos. Com a definição da telha a ser utilizada, é possível obter a quantidade de mini painéis que poderão ser acoplados em cada vão e uma estimativa da tensão e potência total é obtida, considerando o arranjo a ser realizado (série, paralelo ou misto).

3) Desenvolvimento do inversor

Uma vez que o sistema pode ser adquirido gradativamente, o circuito estático de potência requer uma ampla faixa de tensão de entrada no inversor. Desta forma, nesta etapa, tem-se a realização de um referencial teórico sobre trabalhos relacionados que utilizam conversores com esta característica de tensão de entrada, para então realizar a escolha da topologia do conversor que irá integrar o sistema. Para seu desenvolvimento são definidos os parâmetros iniciais, como faixa de tensão e calculado os parâmetros do inversor. Já para sua construção, tem-se a simulação do conversor em softwares como PSIM, a fim de verificar o funcionamento do mesmo. Além disso, para manter a tensão de saída constante, é necessário o desenvolvimento de um controlador, que é inserido no sistema e repetido as simulações. Por fim, há a elaboração e compra da lista de materiais e a montagem do conversor.

4) Desenvolvimento da instrumentação

A fim de mensurar a eficiência dos conversores de potência, acompanhar a geração de energia e monitorar o funcionamento do sistema, nesta etapa, ocorre a definição dos sensores, circuitos e microcontroladores a serem utilizados. Para o monitoramento do sistema, são necessárias medições de temperatura dos mini painéis fotovoltaicos, além da corrente e tensão na entrada e saída dos inversores. Para isso, o primeiro passo é a realização do referencial teórico sobre os tipos de sensores de tensão, corrente e temperatura para monitoramento do desempenho do sistema. Após estudos, tem-se a definição dos sensores e desenvolvimento de códigos para implementação no microcontrolador Arduino. Na etapa seguinte, estão previstas simulações e testes. Posteriormente, ocorre a integração dos sensores ao sistema e as medições das grandezas elétricas e de temperatura.

5) Estudo da Viabilidade Econômica

Esta etapa consiste em avaliar se o projeto de um sistema fotovoltaico de baixo custo inicial é viável economicamente. Foram utilizados os principais indicadores econômicos para tal validação, através da análise de fluxo de caixa para algumas situações. Inicialmente, são levantados conceitos de viabilidade econômica, incluindo os principais indicadores econômicos, tais como: *Payback*, valor de presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR). Feito isso, é apresentado os valores de dimensionamento realizados tanto para um sistema fotovoltaico convencional, quanto para um sistema fotovoltaico de baixo custo inicial mediante uma potência pré-estabelecida. Após o dimensionamento, tem a criação de uma planilha utilizando a ferramenta Excel para a construção de diagrama de fluxo de caixa, utilizando dados de entrada, variáveis, taxas padrões do dimensionamento e características do sistema. A partir destes diagramas, são calculados os indicadores econômicos para um sistema fotovoltaico convencional e, posteriormente, a planilha é adaptada para inserção e cálculos do sistema fotovoltaico com baixo custo inicial. Finalmente, após análises dos resultados, é realizado um comparativo de viabilidade econômica entre o sistema convencional e o sistema com telhas utilizando mini painéis fotovoltaicos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Aplicando a metodologia adotada, obteve-se bons resultados até o momento com as simulações de todas as etapas do projeto em softwares específicos, tais como *AutoCad*, *Tinkercad*, *Fritzing*, *PSIM* e *Altium*. A parte prática ainda está em andamento, sendo que os testes dos circuitos de instrumentação já foram realizados e atualmente encontra-se na fase de finalização da montagem do inversor, para então realizar a integração do sistema.

Construção do protótipo de uma casa

Na etapa referente à construção do protótipo de uma casa, utilizou-se o software *AutoCad* para desenhar uma planta em 3D considerando duas opções de telhado, sendo a primeira um telhado com uma queda d'água, e a segunda um telhado com duas quedas. Por questões de praticidade de locomoção da maquete, optou-se pela construção do protótipo com apenas um telhado, sendo a estrutura que suporta a telha, feita de material acrílico com 10mm de espessura. A Figura 1 demonstra o layout da casa com telhado de uma queda d'água e as dimensões da estrutura da casa.

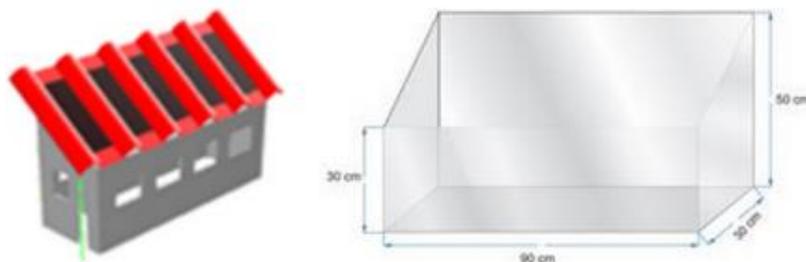


Figura 1 - Planta da casa realizada com *AutoCad* e dimensões da estrutura do protótipo

Construção da telha fotovoltaica e integração a estrutura do protótipo

Para construção da telha fotovoltaica, adquiriu-se uma telha do tipo ecológica e modelo Onduline, com comprimento de 0,4m e largura igual a 1,6m. Essa telha possui um design composto por 5 vãos, o que tornou possível a adição de dois minis painéis fotovoltaicos por vão. A Figura 2 demonstra a telha fotovoltaica construída e sua integração à estrutura.



Figura 2: Telha Solar Fotovoltaica construída

Construção do inversor fotovoltaico

Para a construção do conversor fotovoltaico definiu-se a topologia do conversor *Flyback* para a etapa CC-CC e a topologia Meia Ponte (*Half-Bridge*) para a etapa CC-CA. As escolhas desses circuitos ocorreram devido ao baixo número de componentes, menor complexidade, isolamento elétrico e ao fato de atender ao requisito da ampla faixa de tensão de entrada, no caso do conversor *Flyback*. Em seguida, realizou-se a etapa de definição dos parâmetros do projeto, sendo um deles a tensão de entrada dos conversores. Para isso, realizou-se cálculos considerando os três tipos de associações de módulos solares fotovoltaicos: associação série, mista e paralela. Os resultados obtidos são 50V/ 0,38A para associação série, 5V/3,8A para associação paralela e 15V/3A para associação mista. Diante disso, optou-se pela associação mista, por combinar as características de tensão e corrente das outras duas associações. Feito isso, definiu-se os demais parâmetros, realizou-se os cálculos dos componentes do projeto e verificou-se seu funcionamento, através de simulações no software PSIM, incluindo as análises em malha aberta e em malha fechada. O próximo passo consistiu na implementação prática do inversor fotovoltaico, que foi planejada e projetada com auxílio dos softwares *Altium* e *Fritzing*. Nesses softwares, foram desenhados projetos e detalhados as partes de potência e circuitos de comando e disparo dos conversores CC-CC e CC-CA. A Figura 3 demonstra o circuito do conversor CC/CC *Flyback* elaborado no software *Altium* e a Figura 4 a montagem deste circuito na prática. Já as Figuras 5 e 6 demonstram o conversor *Half-Bridge*, da etapa CC-CA e a montagem do circuito no laboratório.

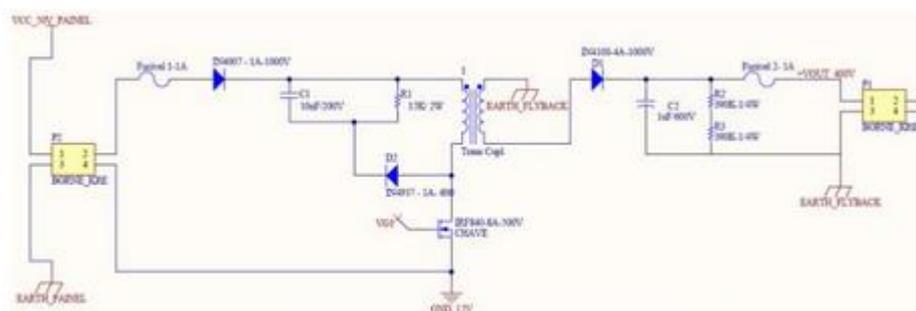


Figura 3: Circuito do conversor CC/CC *Flyback* elaborado no software *Altium*

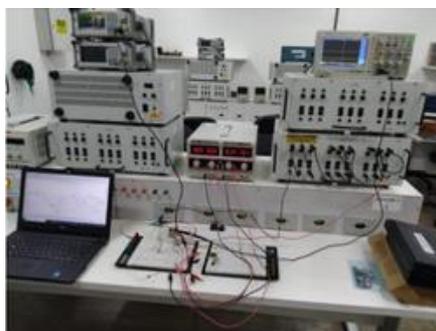


Figura 4: Circuito do conversor CC/CC *Flyback* montado no laboratório

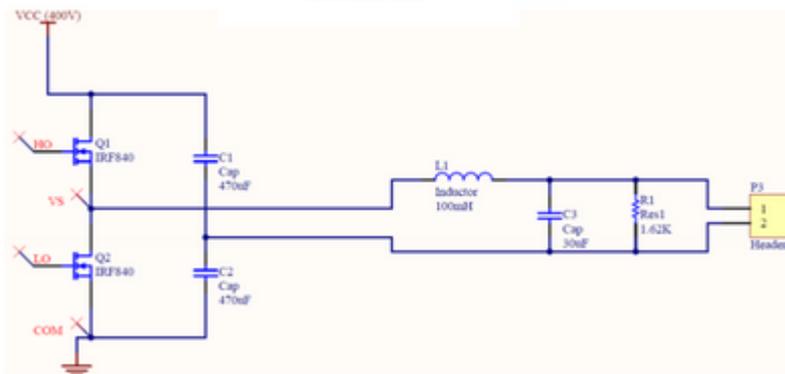


Figura 5: Circuito do conversor CC/CA elaborado no software *Altium*



Figura 6: Circuito CC/CA montado no laboratório

Construção dos circuitos de medição e instrumentação

Para construção dos circuitos de medição enquanto os inversores ainda não estavam finalizados, optou-se por adquirir um inversor de potência CC/CA com tensão de entrada de 10,5V a 15,5V. Com isso, foram montados os circuitos de medição de tensão e de corrente tanto para a parte CC, quanto para a parte CA. Além disso, montou-se a instrumentação para medição de temperatura dos mini painéis fotovoltaicos, a fim de monitorar a eficiência do sistema. Para a parte CA, utilizou-se o sensor SCT-013, para medir a corrente e o sensor ZMT101B para medir a tensão. Já na parte CC, utilizou-se o sensor ACS712 5A, para medição de corrente e o Módulo Sensor de Tensão 0-25V DC, para medição de tensão. Na medição de temperatura, utilizou-se o sensor LM35, acoplado na parte inferior dos mini painéis. Todas as medições realizadas por esses sensores foram processadas utilizando Arduino. A Figura 7 demonstra a etapa de testes dos circuitos de medição, sendo os resultados mostrados em um display.

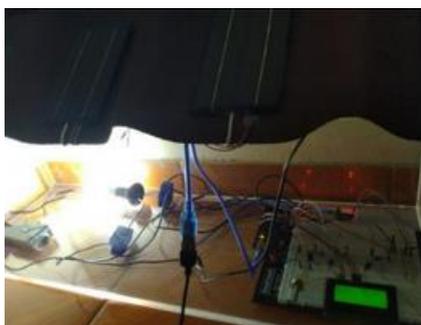


Figura 7: Realização de testes dos circuitos de medição

Análise da viabilidade econômica

Para análise da viabilidade econômica, foram utilizados os conceitos dos principais indicadores econômicos como o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback*. Para realizar a análise, foi criado um fluxo de caixa a partir de uma planilha criada na ferramenta Excel, com os seguintes dados: valores de entrada obtidos pelo dimensionamento do sistema, valores predefinidos como TMA, taxa de radiação solar, tarifa de energia, reajustes e depreciação e realização de cálculos. Com isso, foi simulado a viabilidade econômica em duas situações, a de um sistema convencional e a do sistema de baixo custo inicial. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

	INVESTIMENTO	VPL	TIR	PAYBACK
SISTEMA CONVENCIONAL 200kW	R\$ 6.955,24	R\$ 31.994,79	27,30%	4 anos
SISTEMA BAIXO CUSTO INICIAL 100kW	R\$ 3.461,37	R\$ 17.506,59	28,92%	4 anos

Tabela 1: Simulação de viabilidade econômica

Como o objetivo visa a população de baixa renda e o sistema projetado possui característica de ser adquirido gradativamente, foram realizadas simulações de compras utilizando o dimensionamento sobre a potência do inversor (150W). No caso 1, simulou-se a aquisição do sistema por inversor no intervalo de um ano, sendo que, em três anos, a potência mensal seria de 101,4 kWh. No caso 2, a aquisição do sistema por inversor passa a ter um intervalo de um ano para cada nova instalação, sendo que, em 5 anos, o sistema teria potência mensal de 101,4 kWh. Em ambos os casos o sistema se mostra viável. Os resultados são demonstrados na Tabela 2.

	INVESTIMENTO	VPL	TIR	PAYBACK
CASO 1 - TRÊS ANOS	R\$ 1.171,21	R\$ 16.133,65	28,90%	5 anos
CASO 2 - CINCO ANOS	R\$ 1.171,21	R\$ 14.592,68	28,73%	6 anos

Tabela 2: Simulação de viabilidade considerando intervalos de tempo diferentes

Em ambos os casos, o valor de investimento inicial é o mesmo, de R\$ 1.171,21. O que se diferencia é que, no segundo caso, há um intervalo de um ano para que o usuário quite o sistema adquirido, além de já ter retorno em relação à geração para, no fim, ter investido em torno de R\$3.533,00 na aquisição completa do sistema de telhas solares. Ao distribuir o sistema em três partes, o tempo de retorno é elevado devido à baixa potência inicialmente instalada. Entretanto, ao analisarmos que foi adicionado dois ou três anos para aquisição completa, o payback aumenta respectivamente em um a dois anos. Isso demonstra como o sistema gradual é viável e vantajoso ao se adaptar a necessidade financeira do cliente.

CONCLUSÕES

O projeto apresenta temática atual e de grande relevância para a sociedade, refletindo em benefícios econômicos e ambientais. Para atender ao objetivo de reduzir o custo inicial dos sistemas fotovoltaicos, realizou-se a substituição dos painéis fotovoltaicos por telhas fotovoltaicas e realizou-se a montagem de um inversor de ampla faixa de tensão de entrada. O projeto demonstrou ser um sistema interessante devido ao fato de, além de atender a família de baixa renda, mostra-se adaptável ao perfil financeiro do interessado em investir no sistema. Entretanto, vale lembrar que, devido à característica do inversor, mesmo com uma ampla faixa de entrada, sempre haverá uma potência mínima e máxima de instalação do sistema. Por isso, um planejamento se faz necessário antes do dimensionamento e instalação do sistema para que o mesmo possa ser feito de forma gradativa, com possibilidade de expansão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BARBOSA, Ricardo Alexandre Vargas. Estudo Da Captação De Energia Com Célula Fotovoltaica Em Telha De Zinco. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 2016.

BODÃO, Juliano Henrique. Desenvolvimento Colaborativo de Telhas Fotovoltaicas com RCD. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

JUSTO, Constantino Dário. Viabilidade tecno-econômica de telhas fotovoltaicas. Universidade da Beira Interior. Corvilhã, 2018.

KHIDER, Amir Abdo de Paula; GENARO, Felipe Fontes de Sousa. Comparação de custos entre sistema de placas e telhas fotovoltaicas em residências unifamiliares de médio padrão. 2021.

Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual: Participação na VI Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG - *Campus Itabirito*