



JURANDIR ALVES JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE SISTEMA COM
VENTILAÇÃO FORÇADA PARA APLICAÇÕES
FOTOVOLTAICAS**

**LAVRAS MG
2022**

JURANDIR ALVES JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE SISTEMA COM VENTILAÇÃO
FORÇADA PARA APLICAÇÕES FOTOVOLTAICAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de controle e automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Dr. Fabio Domingues de Jesus
Orientador

**LAVRAS MG
2022**

JURANDIR ALVES JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE SISTEMA COM VENTILAÇÃO
FORÇADA PARA APLICAÇÕES FOTOVOLTAICAS**

**DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF A SYSTEM WITH FORCED
VENTILATION FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de controle e automação, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 16 de setembro de 2022.

Dr. Vinicius Miranda Pacheco UFLA

Dr. Paulo Vitor Grillo de Souza UFLA

Dr. Fabio Domingues de Jesus
Orientador

**LAVRAS MG
2022**

Aos meus pais, Jurandir Alves e Adriana Rosa Alves.

Sem vocês, nada seria possível.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradecer é retribuir a quem sempre contribuiu e nunca mediu esforços, para que este dia e etapa fossem concluídos. Sendo assim, tenho muito a agradecer.

A Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais por todos os ensinamentos, motivações, apoio e que independente do momento, sempre estiveram ao meu lado. Às minhas Avós pelas orações e demais familiares pela torcida.

A Karolayne, a qual tornou-se parte fundamental nesta jornada, fazendo parte dos melhores momentos, sempre com muito amor e companheirismo, mas também como suporte nos dias difíceis.

A todos meus amigos do curso de Engenharia de Controle e Automação e de Lavras, em especial ao Denis Henrique, Jean Carlos e Jordann Almeida, pelos grandiosos momentos de apoio, ensino e diversão.

Ao meu orientador professor Fabio Domingues pela possibilidade de realização do presente trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao departamento de automática, pela possibilidade de realização do curso de Engenharia de Controle e Automação. Também aos grupos de estudos, núcleos, programa de iniciação científica e ao programa de aprendizado técnico, aos quais tive a honra de participar e absorver muito conhecimento.

MUITO OBRIGADO!

“Não basta conquistar a sabedoria, é preciso usá-la”
(Mundo das mensagens)

RESUMO

A utilização de energia fotovoltaica tem-se classificado como primordial para elevação na produção sustentável de energias renováveis. Com a forte expansão registrada nos últimos anos, observa-se uma corrente elevação nas tecnologias aplicadas, tanto nos painéis solares, quanto nos inversores e microinversores. Dentre as principais mudanças, evidencia-se o aumento na potência entregue pelos microinversores. Nesse contexto objetivou-se com o trabalho desenvolver um protótipo de dissipação térmica, utilizando técnicas de ventilação forçada para observar o desempenho térmico e a eficiência no processo de conversão elétrica em um microinversor. O experimento ocorreu no município de Pimenta em julho de 2022, com a execução e montagem de um sistema fotovoltaico composto por oito painéis de 530 Wp e dois microinversores com 1250 Wp cada, juntamente com a consolidação do protótipo. Ocorreram três coletas em dias distintos, sendo uma delas com a exclusão do sistema de controle do ventilador. Foi registrado ainda dados como temperatura interna e externa do microinversor, tensão e corrente na entrada e saída, potência de saída, e geração de energia no período em cada canal do dispositivo. O sistema respondeu de forma satisfatória em relação à variação térmica, e os valores medidos de temperatura tanto interna quanto externa ao longo do intervalo no ponto de operação máxima do microinversor reduziu consideravelmente. Não houve interferência significativa no consumo energético por parte do protótipo. A geração de energia ao final do dia com o sistema de ventilação foi a mesma do sistema de comparação, sendo que não houve variação expressiva entre os canais do próprio microinversor contendo ou não o protótipo.

Palavras-chave: Microinversor. Dissipação térmica. Eficiência.

ABSTRACT

The use of photovoltaic energy has been classified as essential for raising the sustainable production of renewable energies. With the strong expansion registered in recent years, there is a current increase in applied technologies, both in solar panels and in inverters and microinverters. Among the main changes, there is an increase in the power delivered by the microinverters. In this context, the objective of this work was to develop a prototype of thermal dissipation, using forced ventilation techniques to observe the thermal performance and efficiency in the electrical conversion process in a microinverter. The experiment took place in the municipality of Pimenta in July 2022, with the execution and assembly of a photovoltaic system composed of eight 530 Wp panels and two microinverters with 1250 Wp each, together with the consolidation of the prototype. There were three collections on different days, one of them with the exclusion of the fan control system. It also recorded data such as the internal and external temperature of the microinverter, voltage, and electric current at the input and output, output power, and power generation in the period in each channel of the device. The system responded satisfactorily concerning the thermal variation, and the measured values of both internal and external temperature over the range at the maximum operating point of the microinverter reduced considerably. There was no significant interference in the energy consumption by the prototype. The energy generation at the end of the day with the ventilation system was the same as the comparison system, and there was no significant variation between the channels of the microinverter itself, whether or not the prototype was used.

Keywords: Microinverter. Thermal dissipation. Efficiency.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	O setor de energias renováveis no Brasil	12
2.2	Tipos de inversores em sistemas fotovoltaicos	13
2.2.1	<i>On grid</i>	14
2.2.2	<i>Off grid</i>	16
2.3	Eficiência dos dispositivos solares	17
2.3.1	Painéis solares	17
2.3.2	Inversores	19
2.4	O impacto da temperatura em sistemas fotovoltaicos	21
2.5	Uso de eletro ventiladores em componentes eletroeletrônicos	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	Materiais utilizados.....	24
3.2	Montagem do SFV	26
3.3	Montagem do protótipo	28
3.4	Coleta e análise dos dados	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	Sistema com protótipo completo	32
4.2	Sistema com ventilador sem controlador	38
4.3	Considerações extras.....	40
5	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Diversas regiões do mundo, dentre elas o Brasil, vem passando por uma forte expansão na geração de energias renováveis, devido à crise energética em todo mundo, bem como as preocupações ambientais. Com isso, as indústrias são direcionadas a elaborar formas alternativas e confiáveis para atender à crescente demanda por energia elétrica (SATPATHY; SHARMA, 2020).

Segundo dados levantados pela EPE (empresa de pesquisa energética) em 2021, cerca de 83% da matriz elétrica brasileira é proveniente de fontes renováveis, sendo majoritariamente de usinas hidrelétricas, em contraposição a 27% no mundo. Estes dados enfatizam a grande necessidade pela comutação entre os meios de geração a fim de buscar recursos mais eficientes e sustentáveis na geração de energia elétrica demandada ao redor do globo (EPE, 2022).

Dentre as fontes alternativas de geração de energia, pode-se destacar a energia solar, a qual entrega números cada vez mais expressivos. Enquanto em 2016 apresentava menos de 1 Giga Watt (GW), em março de 2022 esse valor ultrapassou a marca dos 10 GW, abrangendo mais de 922 mil instalações em todo território brasileiro (ANEEL, 2022).

Um sistema fotovoltaico tem por objetivo converter a luz solar em energia elétrica, sendo composto basicamente por painéis solares e inversores ou conversores de corrente contínua para corrente alternada (CC-CA). Quando se verifica o seguimento de geração fotovoltaicas, é compreendido que, existem duas linhas comerciais de conversores de energia nos sistemas *on-grid* (conectados à rede de distribuição), sendo eles microinversores (MI) e inversores convencionais (CORTÉS et al., 2020).

Os geradores *multi-strings*, ou convencionais, possuem como entrada uma sequência de painéis em série, também chamadas de *strings*, realizando o monitoramento do conjunto como um todo. Já os MI são capazes de monitorar os módulos a ele conectados de forma independente, ou seja, possui um maior gerenciamento do conjunto de painéis (CORTÉS et al., 2020). Outra característica relevante dos MI, refere-se a sua construção, sendo equipamentos compactos e robustos a intempéries climáticas, decorrente ao seu revestimento fechado e de bloco único.

Com a evolução na eficiência dos painéis solares, a indústria dos MI foi obrigada a adequar-se entregando cada vez mais potência a saída de seus dispositivos, visto que, como em qualquer inversor, a energia em forma de calor é dissipada em decorrência de perdas distintas durante o processo de conversão. Desta forma, objetivou-se com o trabalho elaborar

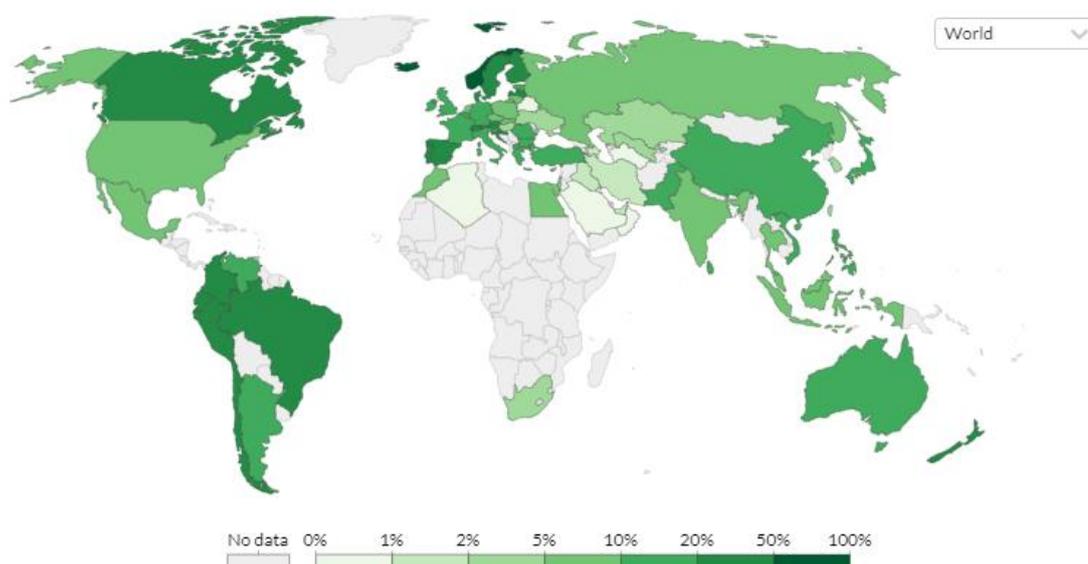
um protótipo de dissipação de calor por meio de ventilação forçada, observando cenários controlados ou não, utilizando uma ventoinha conectada a um microcontrolador e assim observar a relação entre temperatura e desempenho entregue pelos microinversores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O setor de energias renováveis no Brasil

O Brasil destaca-se por ser um dos líderes na geração de energias renováveis. Em 2020 ultrapassou a marca de 1500 tera watts/hora consumidos através de fontes renováveis, totalizando 46,05% do montante. Dentre as principais, destacam-se as usinas hidrelétricas, biomassa, eólica e solar. O país ocupa a quarta posição, ficando atrás somente da Islândia (82,74%), Noruega (66,50%) e Suécia (48,35%). (OUR WORLD IN DATA, 2020).

Figura 1 - Consumo energético através de fontes renováveis.



Fonte: Our World in Data (2020).

O Brasil possui uma gama de recursos naturais disponíveis para geração de energias renováveis, contudo, as centrais hidrelétricas ainda são responsáveis pela maior porção da matriz elétrica do país. Nota-se então, a necessidade de maior descentralização das fontes geradoras, uma vez que, as secas incidentes nos últimos anos evidenciaram a fragilidade do sistema, estando suscetível a apagões em decorrência da falta de água nos reservatórios (BONDARIK; PILATTI; HORST, 2018).

Uma alternativa como fonte geradora é o uso de energia fotovoltaica. Em 2012 foi estabelecida pela Agência Nacional de energia elétrica (ANEEL) a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que autoriza qualquer residência a instalar painéis solares, gerando assim sua própria energia com incidência dos raios solares, utilizando painéis e conversores de energia. Conforme descrito em Bondarik, Pilatti e Horst (2018) esta

alternativa permite que as unidades consumidoras extraiam menos capacidade do sistema nacional de distribuição, reduzindo assim os picos de consumo sobre a rede, e contribuindo ainda para uma maior capacidade em volume dos reservatórios nas usinas hidrelétricas e menor emissão de carbono para a atmosfera.

2.2 Tipos de inversores em sistemas fotovoltaicos

Dentre os principais componentes de um sistema fotovoltaico, destaca-se os inversores. São dispositivos caracterizados por converter energia elétrica em corrente contínua para corrente alternada. A saída deste deve respeitar a amplitude, frequência e conteúdo harmônico correspondente as cargas a ele conectadas. Por outro lado, a fonte de entrada pode ser diversa, desde baterias (*nobreaks* UPS) até células fotovoltaicas (PINHO; GALDINO, 2014).

Modelos atuais de inversores autocomutados ou não, utilizam de técnicas modernas de eletrônica de potência, empregando chaves eletrônicas de estado sólido e abordagens de controle robustas, chegando a níveis superiores a 99% de eficiência de conversão (CORTÉS et al., 2020).

Dadas às aplicações recentes, os tipos de inversores dividem-se em dois grandes grupos, conforme a figura a seguir.

Figura 2 - Grupos de inversores.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

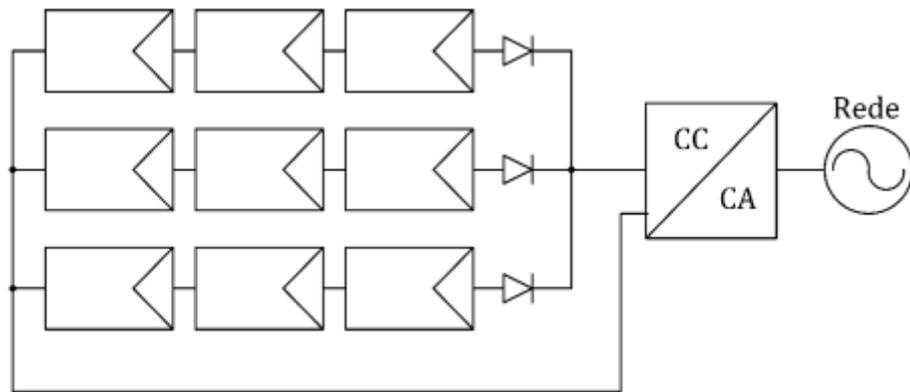
2.2.1 On grid

Segundo Pinho e Galdino (2014), inversores *on-grid* são dispositivos comutados através da rede elétrica a ele conectada. Utilizam de elementos de chaveamento como *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) e *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT). Graças a estes elementos, atualmente os inversores ultrapassam a marca de 100 KW.

Dentre os seguimentos de inversores autocomutados, pode-se segmentá-los em duas linhas, sendo os inversores com *strings* ou central inversoras, e microinversores (MI). Conforme em Cortés et al. (2020) ambos são alimentados por painéis fotovoltaicos (PV), se diferenciando pela forma de conexão entre PV e Inversor.

De acordo com Cabral (2016), as centrais inversoras são classificadas por inversores *strings* e inversores *multi-strings*. A primeira classe é caracterizada por uma série de placas conectadas a um inversor de menor potência, sendo beneficiadas por uma maior confiabilidade, porém, sofre com a incidência de sombreamento sobre áreas da série. Esta configuração se tornou obsoleta, uma vez que sua eficiência global é baixa.

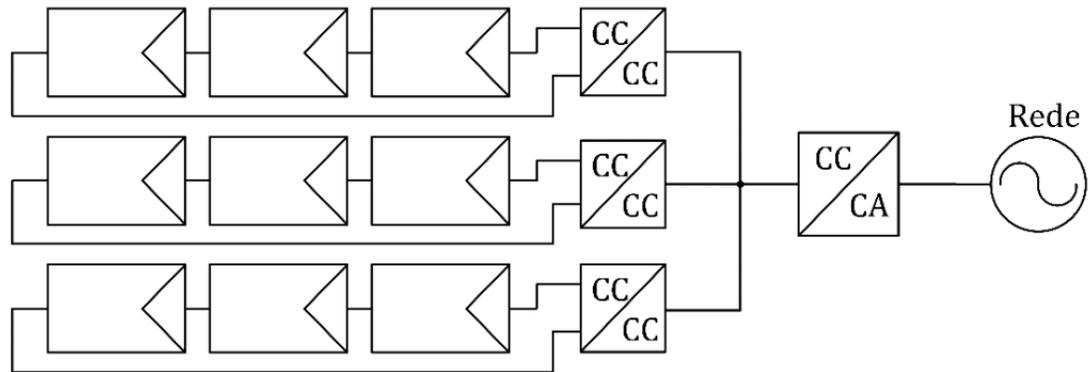
Figura 3 - Configuração de uma central inversora.



Fonte: Cabral (2016).

Por outro lado, conversores *multi-strings* utilizam-se de múltiplas *strings* conectadas a um barramento CC intermediário, é então acoplado a um inversor de grande potência e assim conectado à rede elétrica. Este dispositivo apesar de ser bastante utilizado, está caindo em desuso pelas mesmas desvantagens do sistema *strings*, além de usar um conversor de maior potência, resultando em maior vulnerabilidade em caso de falha (CABRAL, 2016).

Figura 4 - Configuração inversor *multi-strings*



Fonte: Cabral (2016).

Conforme mencionado em Pinho e Galdino (2014), os inversores *multi-strings* atuais atingem elevadas taxas e potência e dissipação, sendo necessário um uso de eletro ventiladores para dissipação de calor. São responsáveis por gerir muitas séries de painéis contando com vários dispositivos de rasteio ou *maximum power point tracking* (MPPT), culminando em números expressivos de geração. A Figura 5 demonstra um inversor de grande capacidade de conversão.

Figura 5 - Inversor com 250 kW pico/800 volts e 12 MPPT.



Fonte: Growatt, 2022.

Já o mecanismo adotado pela topologia do MI se difere dos inversores *multi-strings* uma vez que estes possuem entradas independentes para cada módulo, ficando então cada MI diretamente conectado à rede elétrica. Esta configuração apresenta redução significativa das perdas, uma vez que cada PV atua em seu ponto ótimo, além de diminuir consideravelmente as perdas por sombreamento, permitindo ainda maior modularidade (REZK; ELTAMALY, 2015)

A topologia dos MI apresenta uma das melhores formas de conversão para sistemas fotovoltaicos, entretanto, estão suscetíveis a temperaturas elevadas, por serem instalados diretamente sob a estrutura onde os PV são alocados, sendo assim, expõem-se a menores rendimentos (LYDEN; HAQUE, 2015).

Figura 6 - Exemplo de sistema baseado em MI.



Fonte: Do autor (2022).

2.2.2 *Off grid*

Inversores auto comutados operam baseados em sistemas de controle, através de modulação por largura de pulso (PWM), permitindo o controle sobre a forma de onda, resultando assim em alterações nos valores de tensão na saída. Estes dispositivos podem apresentar um ou mais estágios de conversão (PINHO; GALDINO, 2014).

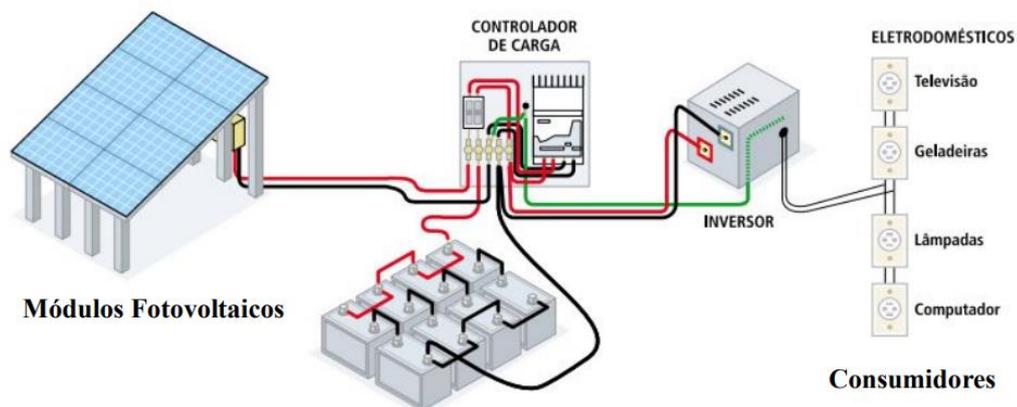
Aparelhos com um estágio apresentam elevada taxa de eficiência e grande robustez, uma vez que possuem baixo número de componentes. Entretanto, caso ele não possua

transformador, a entrada de corrente contínua deve ser maior ou igual a tensão de pico para a corrente alternada, resultando assim, em empecilhos na execução desta configuração (NIŽETIĆ; PENGA; ARICI, 2017)

Sistemas *off grid* são amplamente utilizados em regiões isoladas da rede de distribuição elétrica. Esta topologia utiliza-se de inversores autocomutados atuando em conjunto com controladores de carga MPPT, armazenando energia elétrica em bancos de baterias eletroquímicas (SEN; BHATTACHARYYA, 2014).

De acordo com Boso; Gabriel; Filho (2015) esta topologia é pouco representativa comparada a toda potência instalada no Brasil, uma vez que sistemas *off-grid* chegam a ser duas vezes mais caros que os sistemas *on-grid*. Esta diferença está relacionada aos custos de manutenções e aquisição de baterias para os intervalos de baixa ou nenhuma geração.

Figura 7 - Componentes do sistema fotovoltaico off-grid.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.3 Eficiência dos dispositivos solares

2.3.1 Painéis solares

Um painel fotovoltaico é constituído pela junção de várias células, dispostas em arranjos, capazes de produzir tensão e corrente suficiente para a utilização prática. Este conjunto é envolto por uma estrutura metálica, sendo a maior parte composta por ligas de alumínio, e coberta por uma camada de vidro ou polímeros sintéticos. Uma única célula é capaz de produzir um diferencial de tensão muito baixo para aplicações comerciais, por isto, faz-se necessário a junção em um bloco único gerador, com estas células menores conectadas

em série ou paralelo, dependendo da utilização e demanda necessária (SOUZA; ARISTONE, 2017).

Figura 8 - Conjunto painéis fotovoltaicos com 144 células totalizando 550W cada.



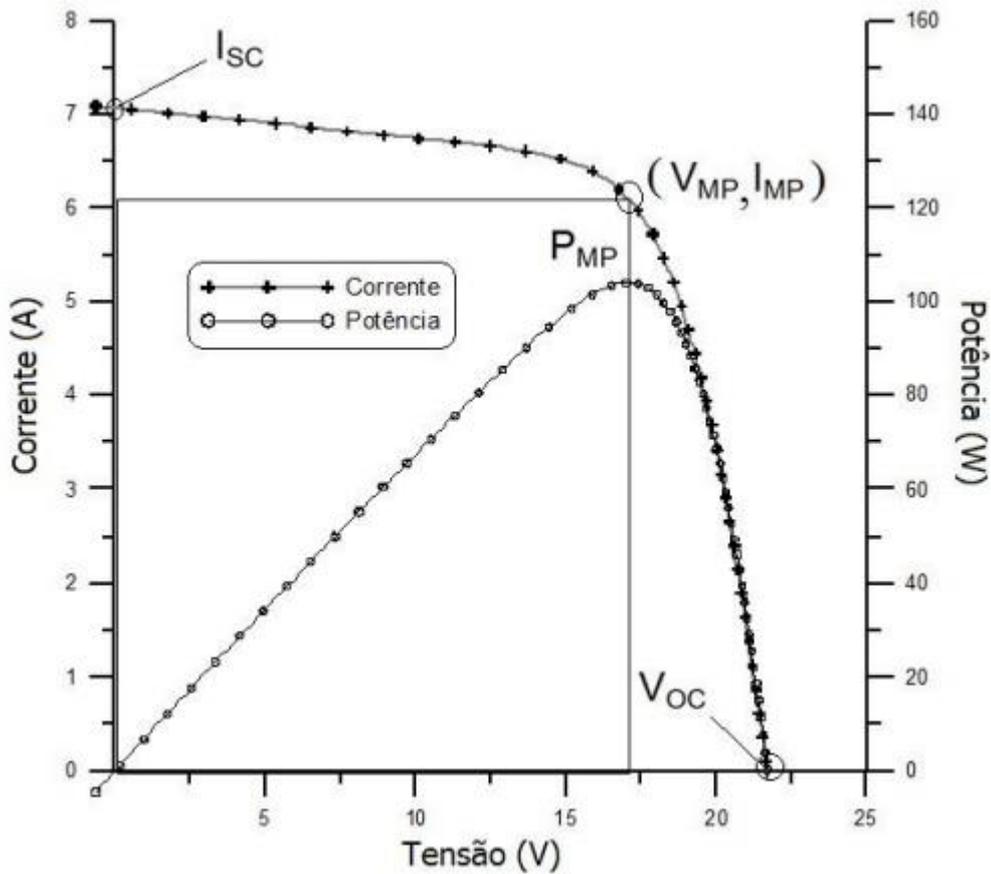
Fonte: Do autor (2022).

Segundo Pinho e Galdino (2014), um dos ensaios comumente utilizados para averiguar as características dos módulos é o traçado da curva característica corrente x tensão (I-V). Neste ensaio, o módulo é submetido a condições padrão de ensaio ou *standard test conditions* (STC), sendo 1,5 atmosferas, temperatura da célula a 25 °C e irradiância solar de 1000 W/m². Ao medir a tensão com o módulo desconectado, obtém-se a tensão de circuito aberto (V_{oc}). Ao conectá-lo a um amperímetro, obtém-se a corrente e curto-circuito (I_{sc}). Outras medidas importantes são:

- Tensão de máxima potência (V_{MP});
- Corrente de máxima potência (I_{MP});
- Ponto de máxima potência (P_{MP}).

A Figura 9 representa um ensaio característico I-V para um PV com potência de 100 Watt pico.

Figura 9 - Exemplo de gráfico ensaio I-V.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Assim, a eficiência (η) do conjunto é dado por:

$$\eta = \frac{P_{MP}}{G \cdot A_M} \times 100 \quad [\%]$$

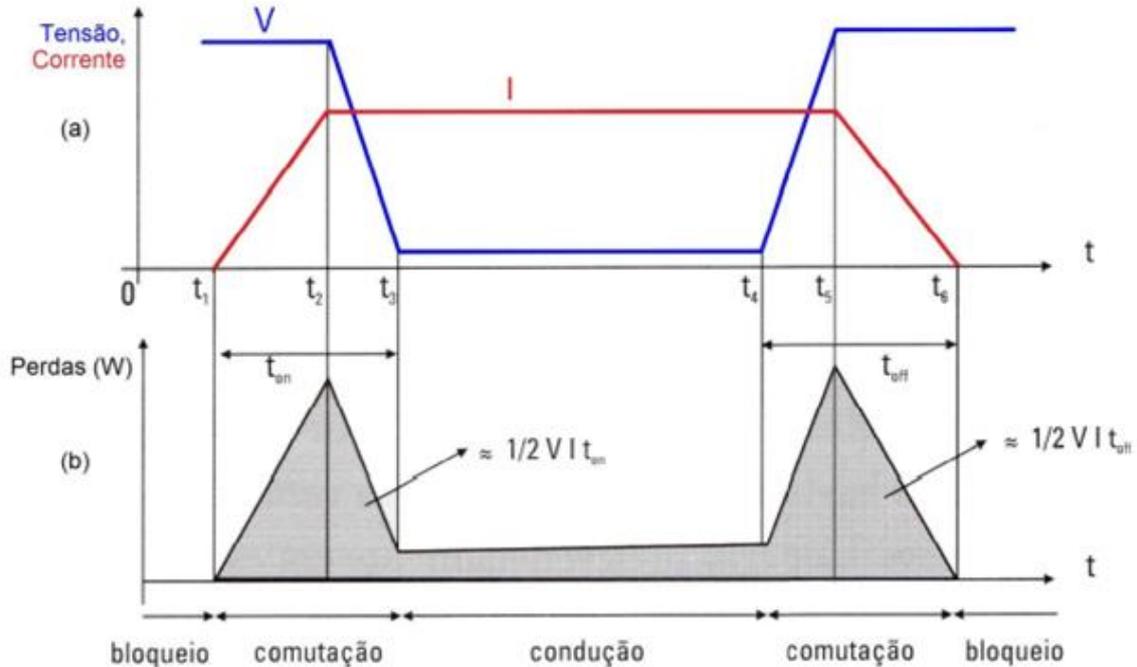
(Equação 1)

Onde A_M é a área total do módulo, incluindo estrutura e afins e G (W/m^2) é a irradiância solar incidente.

2.3.2 Inversores

O principal fator determinante para a eficiência de um inversor está na quantia de energia dissipada durante os diferentes estágios de ação dos semicondutores. A Figura 10 ilustra tais perdas nos diferentes ciclos.

Figura 10 - (a) Formas de onda de tensão (V) e corrente (I) sobre um dispositivo semiconductor em chaveamento e condução e (b) potência dissipada em um dispositivo semiconductor em chaveamento e condução.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Durante o período de bloqueio, as perdas são desprezíveis, já nos intervalos de comutação, picos são observados em decorrência do aumento da corrente até o intervalo máximo ($t = t_2$). A fase de condução também está suscetível a perdas, uma vez submetido a tensão e corrente, porém, com potência reduzida. O somatório da área hachurada em cinza representa a energia total dissipada nos semicondutores (PINHO; GALDINO, 2014). Outra forma de mensurar a eficiência do conversor é através da seguinte equação:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{tl}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{tl}}$$

(Equação 2)

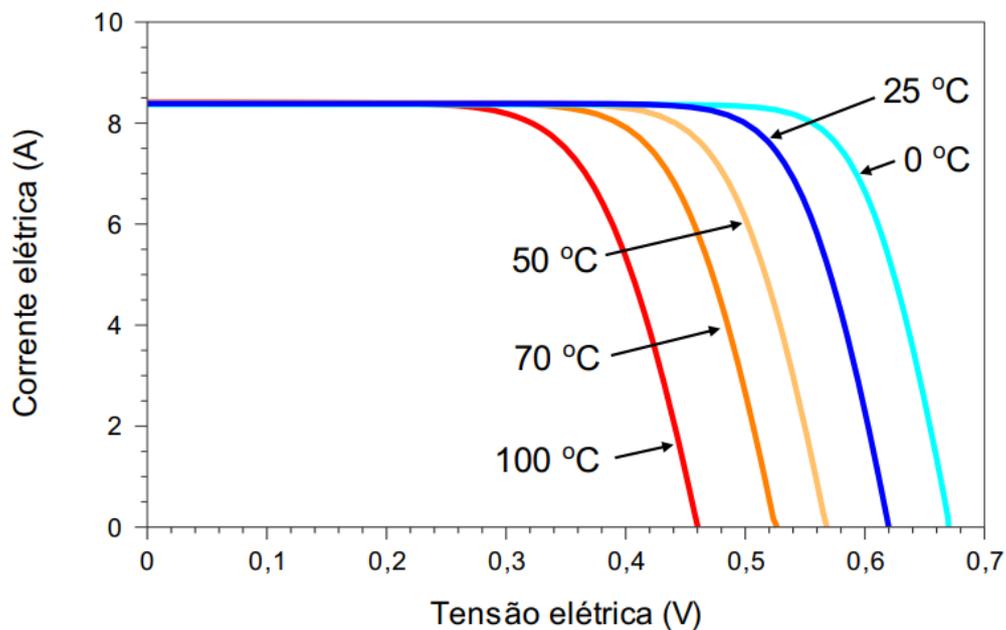
Onde P_{in} é a potência de entrada, P_{out} a potência de saída e P_{tl} é a potência total dissipada (AARNIOVUORI et al., 2013).

2.4 O impacto da temperatura em sistemas fotovoltaicos

Conforme Debastiani et al. (2022), menos de 20% da energia incidida sobre os PV é convertida em energia elétrica, sendo que, as diferentes condições ambientais e de operações a qual os sistemas são submetidos, impactam ainda mais na eficiência total do gerador. Compreender este fenômeno se faz necessário, pois o objetivo final ao instalar um sistema fotovoltaico se dá em converter a maior quantidade possível de energia solar em energia elétrica.

A Figura 11 representa a influência da temperatura nos PV.

Figura 11 - Influência da temperatura em uma célula fotovoltaica na curva I-V (1000 W/m² de irradiância, 1,5 AM).



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Apesar da corrente fornecida pela célula não sofrer alterações consideráveis, observa-se o decaimento da tensão em função do aumento da temperatura, resultando assim em uma menor potência final. Normalmente as temperaturas operacionais são descritas pela sigla NOCT (*nominal operating cell temperature*), e os valores variam entre 40 e 50°C (DEBASTIANI et al. 2022),

Conforme abordado Aarniovuori et al. (2013), os componentes responsáveis pela comutação, regem a temperatura, em virtude do aumento das colisões entre os elétrons e os átomos que compõe o corpo do objeto, portanto, interferindo na eficiência de conversão do equipamento. Este fenômeno é também chamado de efeito Joule.

2.5 Uso de eletro ventiladores em componentes eletroeletrônicos

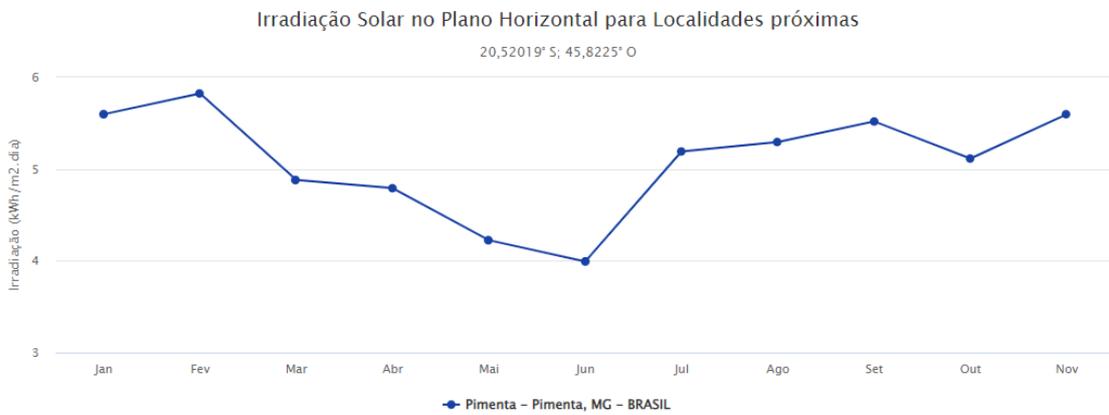
A rápida evolução dos componentes de processamento e eletrônica de potência, agregaram a si fatores relevantes, como o cuidado em controlar as temperaturas de operação dos componentes; uma vez que seu rendimento está diretamente ligado a este fator. Exemplifica-se os grandes *data centers* atingindo a marca de 64580 W/m² dissipados. Esta carga de calor precisa ser tratada de forma a consumir o menor valor energético e número de componentes, evitando assim custo e degradação dos componentes (CHAUHAN; KANDLIKAR, 2019)

Uma vez que o uso de dissipadores convencionais, geralmente compostos por aletas de alumínio, não podem fornecer dissipação adequada, usa-se métodos auxiliares, como a convecção forçada. Embora métodos de resfriamento por imersão possam fornecer desempenho extremamente alto, muitas vezes se tornam difíceis e inviáveis devido aos custos de implementação e manutenção, pois possuem diversos elementos em sua composição. Assim sendo, o uso de ventiladores acoplados a radiadores de calor resulta em um bom custo-benefício em diversas aplicações, desde pequenos *air cooler* para computadores portáteis, até grandes grupos de ventiladores em galpões de mineração de criptoativos (MOŽE; NEMANIČ; POREDOL, 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Pimenta, Minas Gerais, entre os dias 02 e 04 de julho de 2022. O município encontra-se a uma altitude de 776 metros acima do nível do mar, e localizado a latitude 20°29'02" sul e a uma longitude 45°47'56" oeste. Segundo dados do centro de referência para as energias solar e eólica Sergio de S. Brito, a irradiância média local é de 5,03 kWh/m².dia (figura 12) e, durante o mês de condução do experimento foi de 5,19 kWh/m². dia.

Figura 12 - Irradiância solar mensal no município de Pimenta – MG.



Fonte: CRESESB (2022).

Outro fator importante para o experimento refere-se aos dados climatológicos do município, observa-se na figura 13 que a temperatura média no mês de realização do experimento foi de 17,8 °C para um total de 8,3 horas de sol por dia.

Figura 13 - Dados Climatológicos do município de Pimenta-MG.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	22.7	22.9	22.2	21.2	18.9	18	17.8	19.3	21.4	22.5	21.8	22.3
Temperatura mínima (°C)	19.3	19.3	18.9	17.4	14.7	13.6	13	13.9	16	17.9	18.4	19.1
Temperatura máxima (°C)	26.7	27.1	26.2	25.4	23.5	22.9	23.1	25.2	27.2	27.7	28.1	28.3
Chuva (mm)	256	148	169	59	42	16	12	15	58	97	193	262
Umidade(%)	77%	74%	78%	74%	72%	70%	65%	56%	56%	62%	75%	79%
Dias chuvosos (d)	15	11	13	7	4	2	1	2	5	9	14	17
Horas de sol (h)	8.7	9.1	8.0	7.7	7.3	7.7	8.3	9.3	9.1	8.9	7.6	8.1

Fonte: Climate-Data (2022).

3.1 Materiais utilizados

O Experimento foi conduzido em duas etapas, sendo elas: a montagem do sistema fotovoltaico (SFV) e a montagem do protótipo do controlador e ventoinha. Para isso, foram utilizados os seguintes componentes:

SFV:

- 8 Painéis solares com 144 células monofacial totalizando uma potência máxima de 530Wp por módulo, modelo Tiger Pro e marca Jinko Solar;

Figura 14 - Painel utilizado no experimento.



Fonte: Do autor (2022).

Tabela 1 – Parâmetros elétricos PV.

Parâmetro	Valor
Potência máxima	530 [W]
Tensão máxima	40.71 [V]
Corrente máxima	13.02 [A]
Tensão circuito aberto	49.35 [V]
Corrente de curto-circuito	13.71 [A]
Tensão máxima do sistema	1500 [V]
Faixa de temperatura	-40°C +85°C
Classe de proteção	II
Peso	28 [kg]
Dimensões	2274 x 1134 x 35 [mm]

Fonte: Do autor (2022).

- 2 Microinversores marca Apsystems modelo QS1 com potência de saída máxima de 1200W, 4 MPPT e tensão nominal de 220V;

Figura 15 - Modelo de microinversor utilizado.



Fonte: Do autor (2022).

- 1 sistema de monitoramento;
- 1 disjuntor bipolar 20A;
- 2 dispositivos de proteção de surto (DPS) 20 kA;
- 1 haste terra cobreada;
- Cabo tronco para conectar os MI a rede elétrica;
- Extensões solares com conector tipo MC-4;
- Cabos e conectores elétricos;

Protótipo do controlador e ventoinha:

- 1 Arduino UNO R3;
- 1 conversor CC-CC do tipo *Step-Down* com entrada de 26 a 120 Vcc e saída fixa em 12 Vcc e corrente máxima de 3A;
- 1 cooler fan de 120 mm, 4 pinos, 12V, 2,4 Wp e 1800 rpm;
- 1 display lcd 16x2 I2c;
- Sensor de temperatura lm35;
- 1 par de conectores tipo jacaré;
- Pasta térmica;
- 1 caixa plástica IP 65;
- Cabos e jumpers para conexões;
- Abraçadeiras de *nylon* para fixação.

3.2 Montagem do SFV

Inicialmente, realizou-se a montagem de um painel acoplado a um MI e estes ficaram expostos ao sol. Assim que o MI realizou as configurações iniciais e estava apto para o emparelhamento, ligou-se a *Energy Communication Unit* (ECU) e realizou-se então a conexão entre os dispositivos. Em seguida, foi realizada a configuração dos parâmetros elétricos do MI via ECU. Este passo consiste em setar dados de funcionamento do MI, tais como tensão máxima e mínima de operação, tempo para religação, frequência máxima e mínima, entre outros. Todos os passos foram repetidos para o segundo MI.

Tabela 2 – Valores setados nos MI.

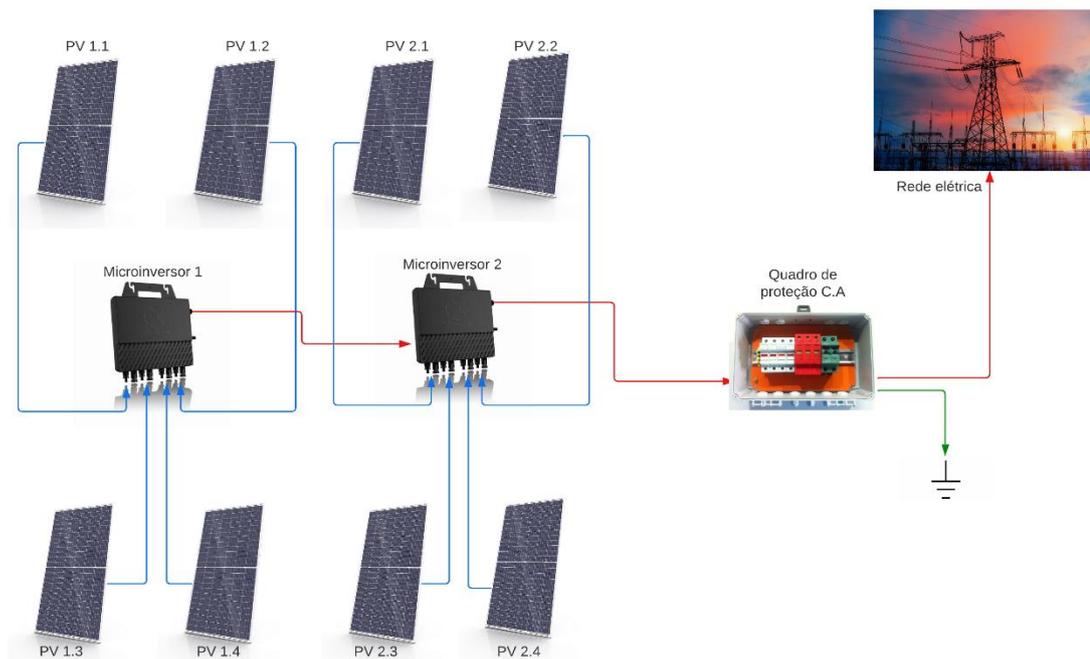
Parâmetro	Valor
Tensão máxima	260 [V]
Tensão mínima	190 [V]
Frequência máxima	61 [Hz]
Frequência mínima	59 [Hz]
Tempo de reconexão	60 [s]

Fonte: Do autor (2022).

Após ambos MI serem configurados, iniciou-se a montagem de todo o conjunto, onde quatro painéis foram conectados a cada entrada do MI e dispostos sobre uma estrutura temporária para acomodação do conjunto. Uma área de aproximadamente 30 m² foi utilizada, de modo que um conjunto contaria com o protótipo de dissipação e outro não, para efeitos de comparação. Por fim, realizou-se as conexões elétricas entre painéis e MI, em seguida MI e rede elétrica CA, sendo que esta possui dispositivos de proteção acoplados ao circuito, sendo eles o disjuntor termomagnético para proteção de sobrecorrente e DPS para proteção de surtos de tensão. Foi inserida também uma haste cobreada para aterramento do sistema. Por fim, o sistema foi acionado e um teste inicial foi realizado para conferência do funcionamento do sistema como um todo.

As imagens 16 e 17 demonstram as conexões realizadas de forma simplificada e o resultado final:

Figura 16 - Diagrama simplificado SFV.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 17 - Montagem final do sistema físico.

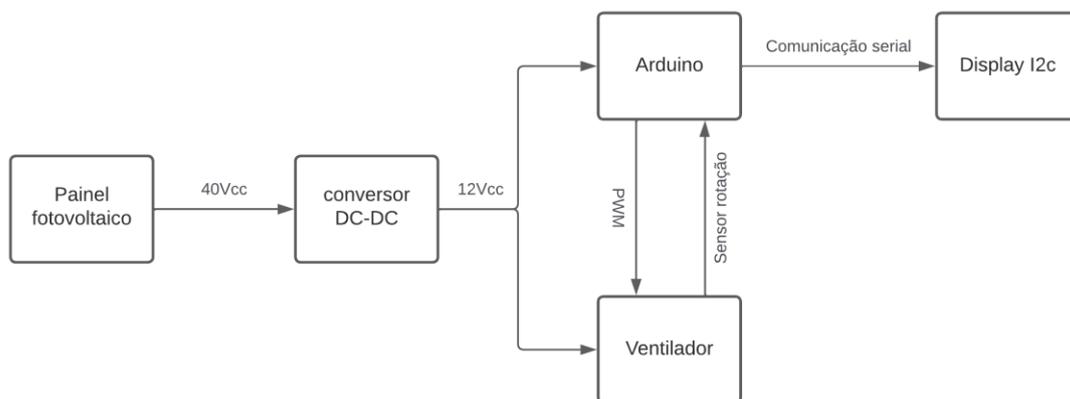


Fonte: Do autor (2022).

3.3 Montagem do protótipo

A execução do protótipo ocorreu em três fases distintas, onde inicialmente realizou-se as medições do conversor CC-CC para verificação da tensão de saída, seguido das conexões entre os componentes e, por fim, o acoplamento do conjunto (Figura 18).

Figura 18 - Diagrama simplificado das conexões no protótipo.

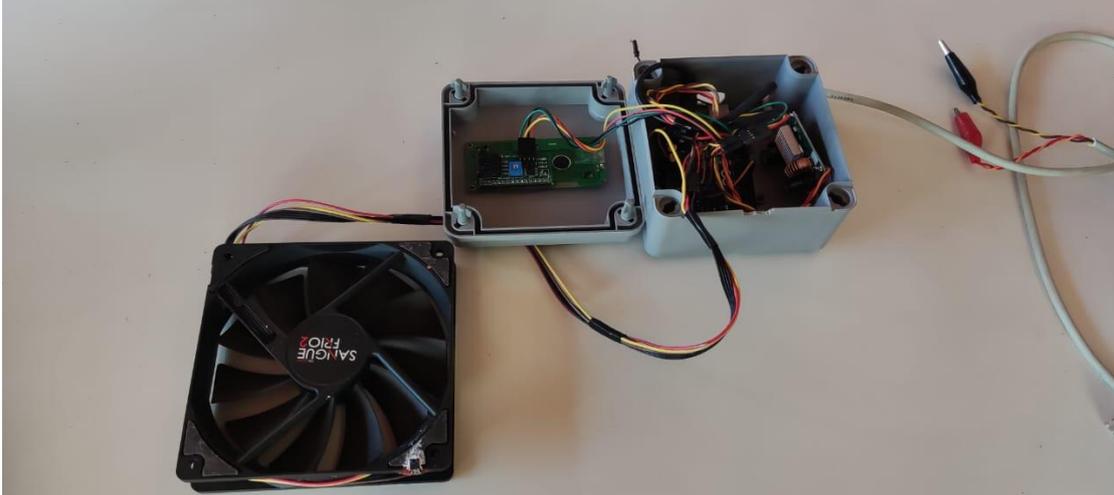


Fonte: Do autor (2022).

Após a execução da montagem em bancada, iniciou-se o processo de programação do microcontrolador. O código desenvolvido consiste em inicializar, setar os periféricos e variáveis auxiliares para execução de um *loop* onde a cada passagem, a leitura da temperatura é verificada e submetida a uma sequência de condicionais. Caso o valor esteja dentro de

alguma faixa especificada, um valor de PWM é enviado para o ventilador, modificando assim sua velocidade de rotação. Por fim, os valores de temperatura e rotação são atualizados e exibidos no *display*. O código completo encontra-se no APÊNDICE A.

Figura 19 - Montagem final do protótipo de dissipação.



Fonte: Do autor (2022).

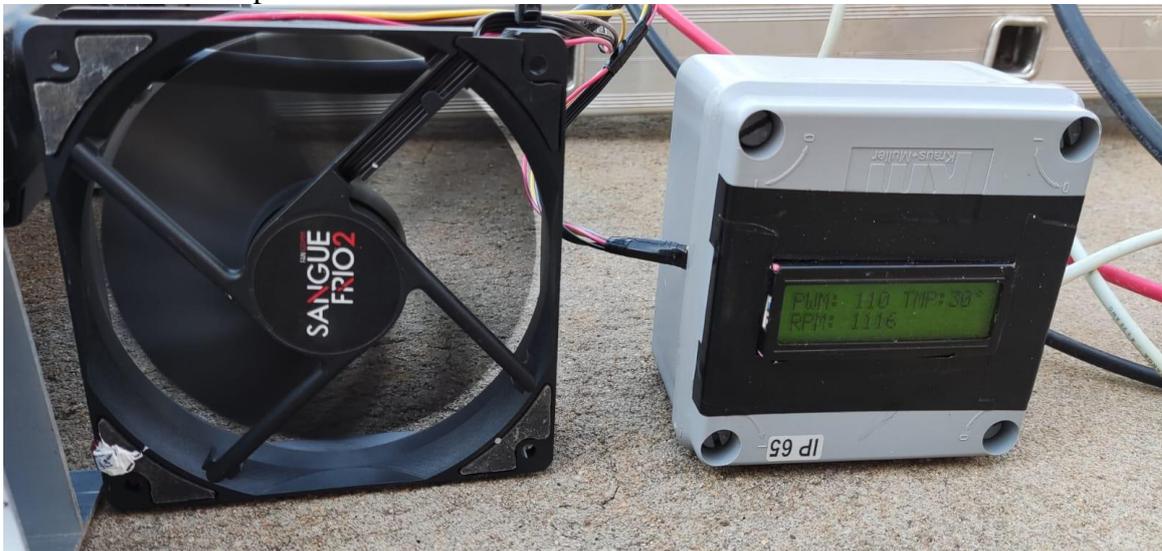
Com o protótipo finalizado e testado em bancada (figura 19), fixou-se a ventoinha utilizando fita autoadesiva já embutida no ventilador sobre a área contendo aletas para dissipação térmica no MI (figuras 20 e 21). Conectou-se ainda os conectores tipo jacaré nos terminais positivos e negativos do PV. Em seguida, os componentes do protótipo foram alimentados através do conversor CC-CC e, assim o controlador iniciou o ciclo de verificações e atualização do display e ventilador. Vale ressaltar que os MI foram expostos ao sol, para maior aquecimento durante o uso.

Figura 20 - Ventilador fixado sobre o MI.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 21 - Protótipo conectado ao sistema de geração, porém com ventoinha ainda desacoplada.



Fonte: Do autor (2022).

3.4 Coleta e análise dos dados

Foram realizadas três coletas distintas para diferentes cenários, com intuito de comparar desempenho térmico, consumo energético e impacto sobre a geração ao final do dia, entre o sistema com e sem o protótipo de dissipação.

No primeiro e segundo dia, o protótipo estava conectado ao MI 2 e foram coletados os seguintes dados:

- Temperatura do MI (sensor interno e externo);
- Rotação do ventilador;
- PWM controlador;
- Temperatura ambiente;
- Contato direto com os raios solares.

No MI sem o protótipo foram coletadas as mesmas variáveis, exceto os dados relacionados ao PWM e rotação do ventilador. No terceiro dia, foi removido o sistema de controle, mantendo o ventilador conectado diretamente ao painel para verificação entre o mesmo sistema, contendo ou não o sistema de controle.

Dados internos dos MI também foram extraídos da plataforma de gerenciamento da marca (figura 22), sendo eles, tensão e corrente de entrada e saída, frequência da rede, temperatura medida pelo sensor interno e potência entregue pelo MI.

Figura 22 - Plataforma de gerenciamento e registro de dados Apsystems.



Fonte: Do autor (2022).

Após a obtenção dos dados, estes foram analisados utilizando o Software Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sistema com protótipo completo

A Tabela 3 apresenta os resultados coletados no primeiro dia do experimento, evidenciando uma queda significativa na temperatura do MI com o protótipo acoplado.

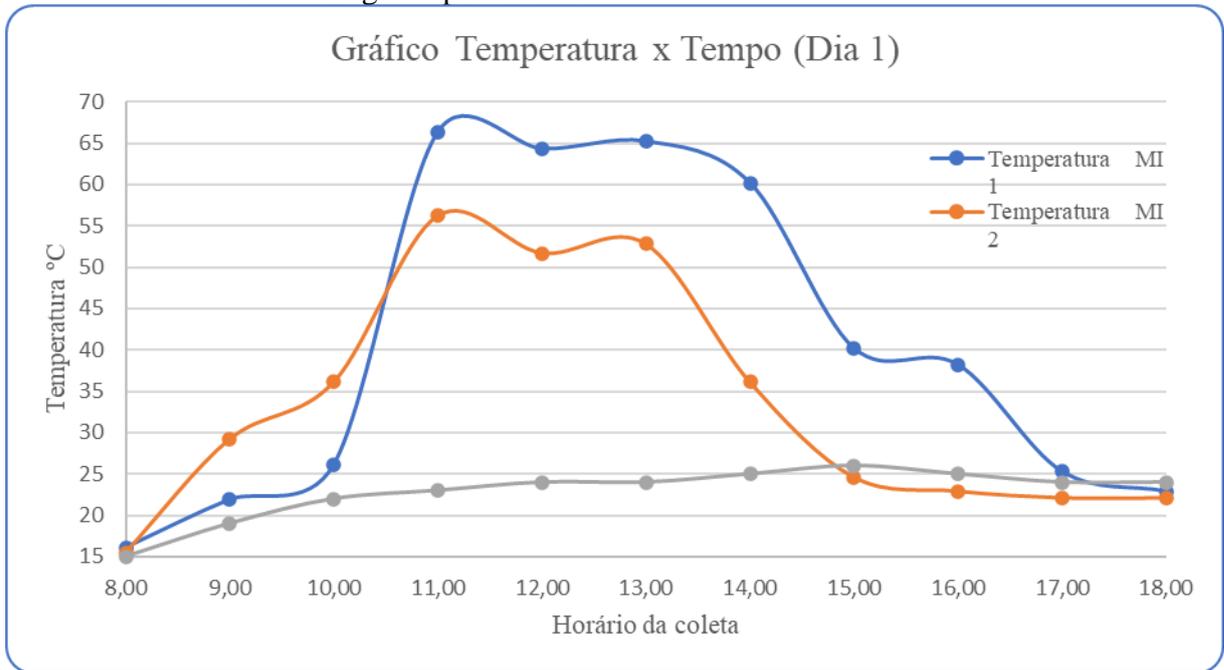
Tabela 3 – Dados externos coletados MI 1 e 2 no primeiro dia.

Hora da coleta	Temperatura MI 1 $\pm 0,1$ [°C]	Temperatura MI 2 $\pm 0,1$ [°C]	Rotação ± 1 [rpm]	Temperatura ambiente ± 1 [°C]	Incidência solar MI 1	Incidência solar MI 2
8:00	16,1	15,5	1129	15	Não	Não
9:00	21,9	29,2	1500	19	Sim	Não
10:00	26,1	36,1	1800	22	Sim	Não
11:00	66,3	56,2	2100	23	Sim	Sim
12:00	64,3	51,7	2148	24	Sim	Sim
13:00	65,2	52,8	2150	24	Sim	Sim
14:00	60,2	36,1	1840	25	Não	Sim
15:00	40,2	24,6	1479	26	Não	Sim
16:00	38,2	22,9	1175	25	Não	Não
17:00	25,3	22,1	1170	24	Não	Não
18:00	22,9	22,1	1123	24	Não	Não

Fonte: Do autor (2022).

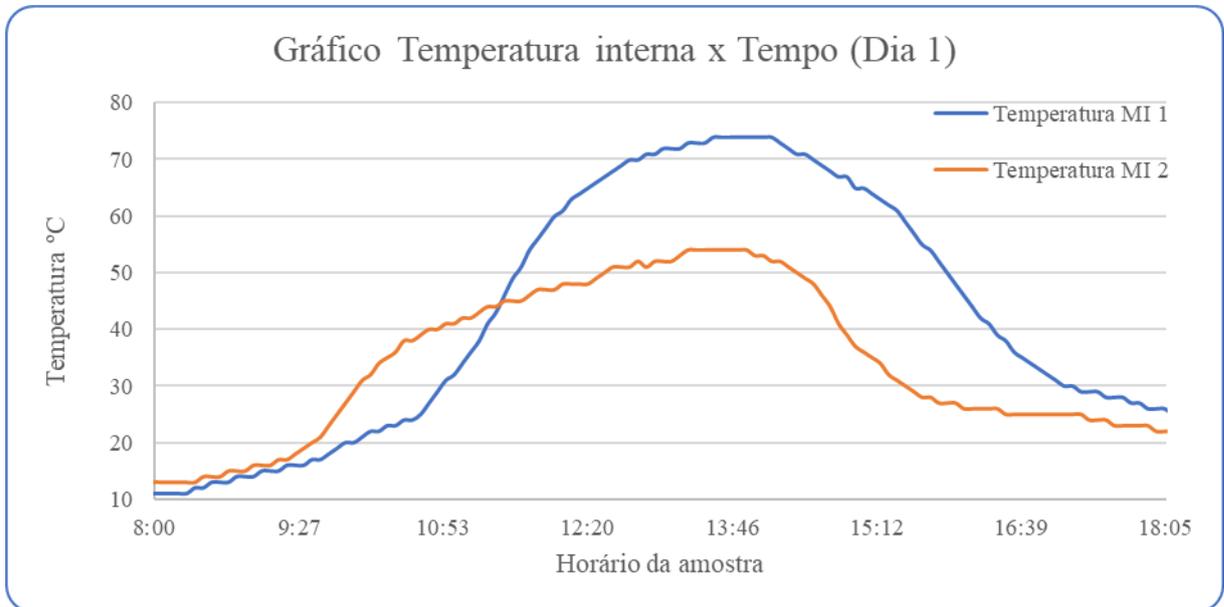
Nota-se que a temperatura máxima coletada externamente no MI 1 foi de 65,2 °C frente a 56,2 °C, uma redução de 17,97 %. Observa-se também a variação na rotação do ventilador em decorrência da temperatura medida pelo sensor LM35, variando de 1123 a 2150 rpm. As Figuras 23 e 24 retratam as variações de temperatura externa e interna, obtida pela plataforma de gerenciamento e por coletas manuais.

Figura 23 - Representação gráfica da variação de temperatura externa nos MIs e temperatura ambiente ao longo do primeiro dia.



Fonte: Do autor (2022).

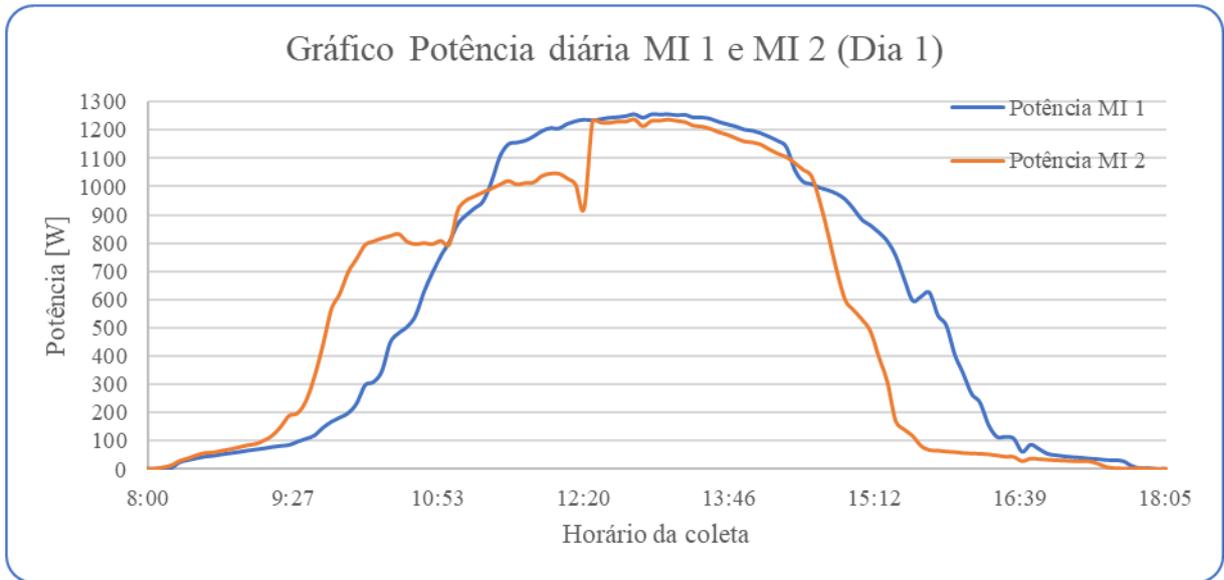
Figura 24 - Representação gráfica da variação de temperatura interna nos MIs no primeiro dia.



Fonte: Do autor (2022).

Já para os dados registrados internamente pelos MIs, indicam um decaimento ainda maior na temperatura, registrando um pico em 74 °C no MI 1 e 54 °C no MI 2, totalizando 20 °C a menos. Outro dado relevante para o experimento é a potência entregue pelos dois sistemas e estão representados na Figura 25.

Figura 25 - Representação gráfica da potência entregue pelos MI ao longo do primeiro dia.



Fonte: Do autor (2022).

Observa-se uma queda na série do MI 2 antes das 12:20 em decorrência de um sombreamento em uma das placas, contudo no segundo dia este evento não ocorreu. Sabe-se ainda que a área abaixo da curva de potência representa a quantidade de Wh/dia injetado na rede pelo MI. Este dado também é registrado pelo sistema de gerenciamento e pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados internos de geração coletados nos MIs 1 e 2 no primeiro dia.

	Microinversor 1 $\pm 0,001$ [kWh]				Microinversor 2 $\pm 0,001$ [kWh]			
	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4
Geração diária	1,517	1,407	1,465	1,435	1,214	1,397	1,435	1,433
Total diário	5,824				5,478			

Fonte: Do autor (2022).

Constatou-se uma variação de 6,31% entre os sistemas. Este valor pode estar relacionado ao sombreamento em parte do dia, afetando assim o desempenho final. A Tabela 5 reproduz os dados coletados ao longo do segundo dia.

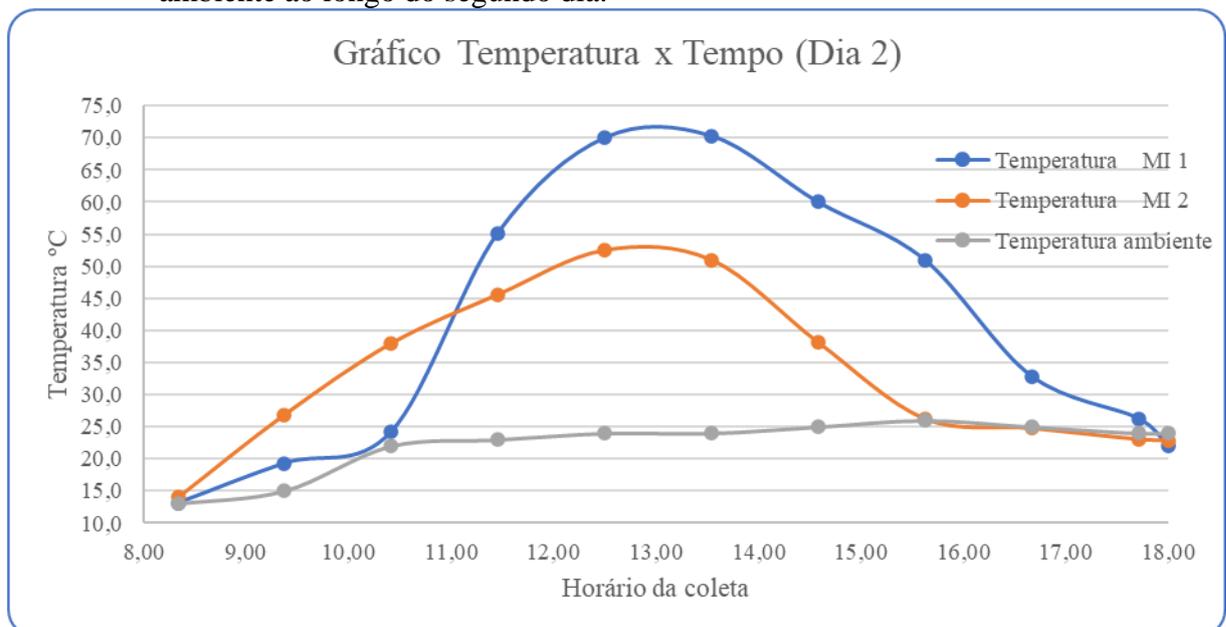
Tabela 5 - Dados externos coletados MI 1 e 2 no segundo dia.

Hora da coleta	Temperatura MI 1 $\pm 0,1$ [°C]	Temperatura MI 2 $\pm 0,1$ [°C]	Rotação ± 1 [rpm]	Temperatura ambiente ± 1 [°C]	Incidência solar MI 1	Incidência solar MI 2
8:00	11,1	12,0	1129	15	Não	Não
9:00	19,3	26,9	1500	19	Sim	Não
10:00	24,2	38,0	1800	22	Sim	Não
11:00	55,2	45,6	2100	23	Sim	Sim
12:00	70,0	52,5	2148	24	Sim	Sim
13:00	70,3	51,0	2150	24	Sim	Sim
14:00	60,0	38,2	1840	25	Não	Sim
15:00	51,0	26,3	1479	26	Não	Sim
16:00	32,9	24,8	1175	25	Não	Não
17:00	26,3	23,1	1170	24	Não	Não
18:00	22,1	22,9	1123	24	Não	Não

Fonte: Do autor (2022).

Já no segundo dia, compreende-se uma maior variação em relação ao primeiro dia, sendo a máxima registrada no MI 1 de 70,3 °C e no MI 2 52,5 °C, representando 33,90 % na redução da temperatura externa do MI (figura 26). Os valores da rotação do ventilador alteraram-se conforme programado via código e o comportamento da temperatura ambiente nos dois dias foi similar, demonstrando assim um ganho expressivo na redução da temperatura.

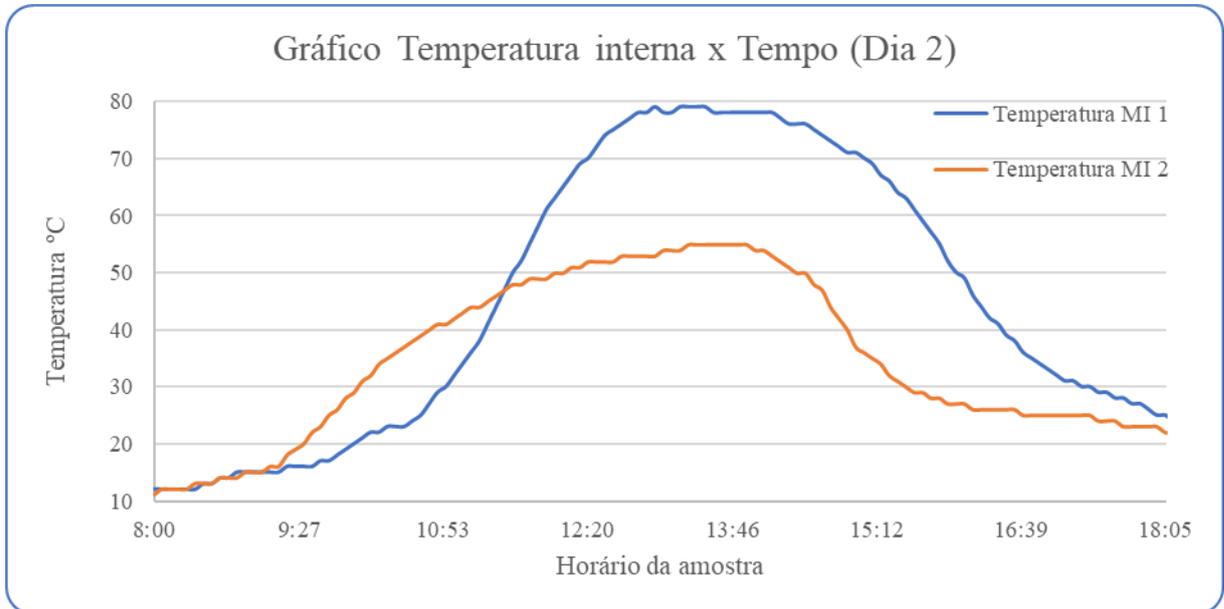
Figura 26 – Representação gráfica da variação de temperatura externa nos MIs e temperatura ambiente ao longo do segundo dia.



Fonte: Do autor (2022).

Os valores registrados internamente pelos MI podem ser observados na Figura 27.

Figura 27 - Representação gráfica da variação de temperatura interna nos MIs no segundo dia.

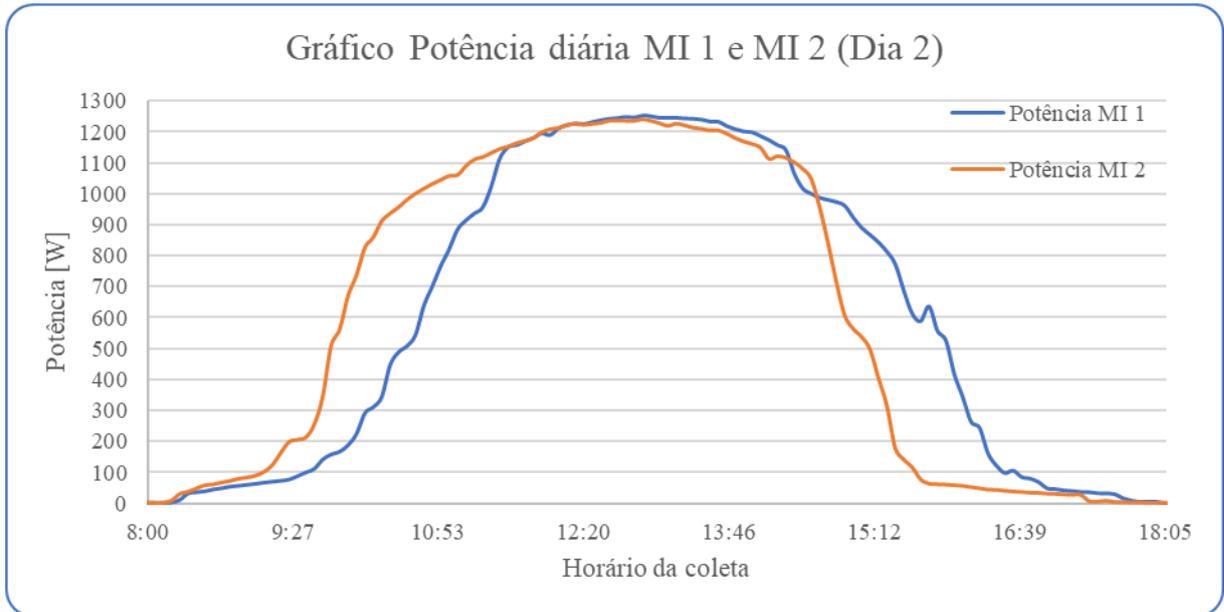


Fonte: Do autor (2022).

Nota-se através da Figura 27 uma divergência considerável entre os valores máximos de temperatura atingido internamente. Percebe-se também uma antecipação na elevação da temperatura pelo MI 2 em decorrência da defasagem na presença de irradiação solar direta sobre o dispositivo, o que resulta na elevação da temperatura. A diferença nestas amostras de temperatura máxima atingida foi de 23 °C o que caracteriza 43,63% de redução.

Ao verificar-se a curva de potência ao longo do dia, constatou-se que ambos os dispositivos atingiram a mesma faixa de pico de potência (figura 28), mostrando assim que o protótipo não interferiu na geração entregue pelo MI. Este fato pode estar relacionado ao *Oversizing* (ou sobredimensionamento), onde existe uma relação de sobrecarga entre a potência de pico do arranjo fotovoltaico em relação a potência nominal do Microinversor (MONDOL; YOHANIS; NORTON, 2007). No caso do experimento a relação foi de 0,589. Este valor este abaixo do padrão usual para o dispositivo, sendo indicado cerca de 33% (ECORI, 2022).

Figura 28 - Representação gráfica da potência entregue pelos MIs ao longo do segundo dia.



Fonte: Do autor (2022).

A escolha pela relação de sobrecarga se deu com objetivo de elevar ao máximo o período de conversão máxima dos MI e assim observar o desempenho do protótipo sobre estes casos. Conforme em Ali; Raisz; Mahmoud (2019), os dispositivos estão atingindo números cada vez maiores de potência, sendo assim, necessita-se uma maior atenção quanto a temperatura de trabalho.

O fator do consumo do protótipo juntamente com o custo de aquisição é crucial na tomada de decisão entre inserir ou não o dispositivo nos projetos, a Tabela 6 demonstra o resultado de geração ao longo do segundo dia entre os MI.

Tabela 6 – Dados internos de geração coletados nos MIs 1 e 2 no segundo dia.

	Microinversor 1 \pm 0,001 [kWh]				Microinversor 2 \pm 0,001 [kWh]			
	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4
Geração diária	1,485	1,405	1,463	1,423	1,434	1,445	1,454	1,431
Total diário	5,777				5,764			

Fonte: Do autor (2022).

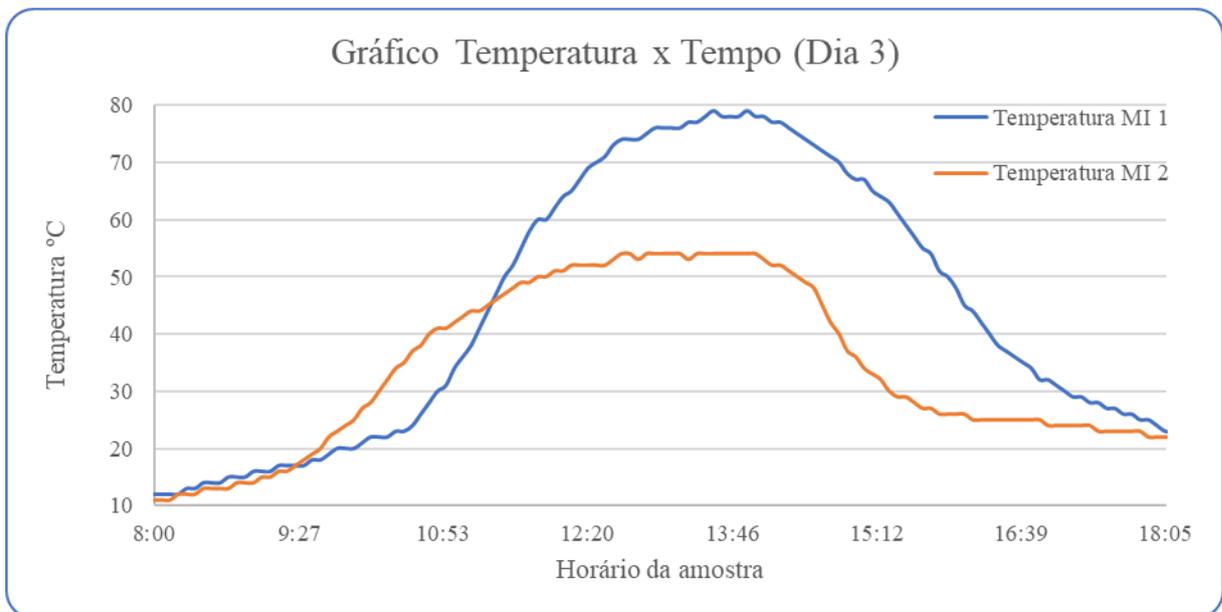
Observam-se números muito próximos de geração final, retratando assim um impacto mínimo no consumo do protótipo, para um ganho relevante na dissipação térmica. Um ponto de atenção para uso do controlador acoplado ao MI, está relacionado a interferências geradas

pelo MI quando atuado. Estas perturbações geram ruídos e influenciam na medição realizada pelo controlador através dos sensores, sendo necessário realizar um sistema de aterramento, ou utilização de um conversor isolador. No presente trabalho, somente o aterramento foi suficiente para reduzir as perturbações.

4.2 Sistema com ventilador sem controlador

O último cenário abordado, consistiu na remoção do microcontrolador, conectando o conversor CC-CC diretamente ao ventilador, assim, do início ao final do dia, o ventilador atuou na velocidade máxima, próximo de 2100 rpm.

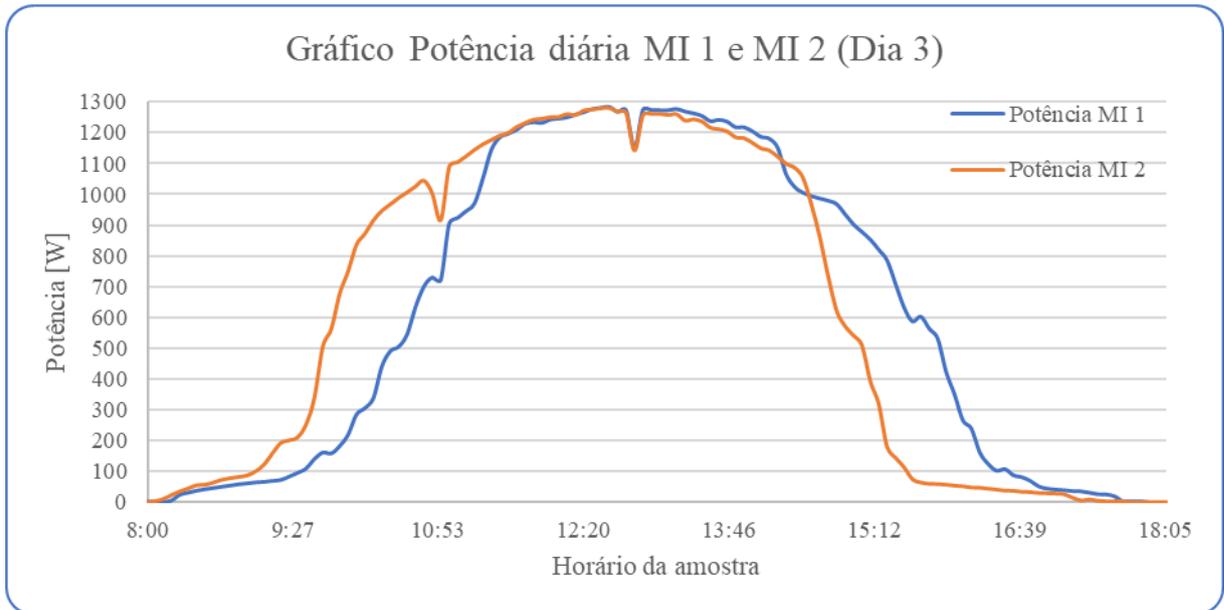
Figura 29 - Representação gráfica da variação de temperatura interna nos MI no terceiro dia.



Fonte: Do autor (2022).

Um resultado similar ao dia anterior foi obtido, ocorrendo um decaimento de 44,4% na temperatura máxima (figura 29). O mesmo ocorreu para a curva de potência entregue pelos dispositivos, porém, neste caso, um leve ganho foi registrado pelo MI com o sistema de ventilação direta (figura 30).

Figura 30 - Representação gráfica da potência entregue pelos MI ao longo do terceiro dia.



Fonte: Do autor (2022).

A Tabela 7 a seguir, demonstra um ponto importante para a análise do consumo do ventilador, este estava acoplado ao canal 4 do MI 2, e ao observar o desempenho ao final do dia, constatou-se que não houve redução na geração, se comparado aos demais canais do mesmo MI.

Tabela 7 – Dados internos de geração coletados nos MIs 1 e 2 no terceiro dia.

	Microinversor 1 \pm 0,001 [kWh]				Microinversor 2 \pm 0,001 [kWh]			
	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4
Geração diária	1,515	1,434	1,483	1,413	1,454	1,464	1,473	1,461
Total diário	5,844				5,852			

Fonte: Do autor (2022).

O mesmo ocorreu para o sistema com o controlador, mencionado anteriormente. Para esta abordagem simplificada, deve-se levar em conta uma redução expressiva no custo do equipamento do protótipo, juntamente com uma redução na complexidade com a remoção do controlador. Entretanto, observa-se uma acentuação no acúmulo de poeira na ventoinha (figura 31), devido ao maior fluxo de ar, podendo ocasionar problemas.

Figura 31 - Poeira acumulada em um dia de operação com 100% da capacidade do ventilador.



Fonte: Do autor (2022).

Atenta-se também para o aumento significativo do ruído. Se instalado em uma residência, pode-se tornar um inconveniente. Outro ponto está relacionado a vida útil do dispositivo, contudo um ventilador com a tecnologia do modelo utilizado tem uma expectativa de vida de aproximadamente 20000 horas segundo a fabricante.

4.3 Considerações extras

Outro fator importante para o experimento é o modelo do MI. O modelo em questão segundo a fabricante possui uma limitação de potência máxima controlada via software, ou seja, mesmo se houver um ganho na eficiência em decorrência da redução térmica, não refletiria em ganhos reais de geração. Contudo como os modelos subsequentes (QS1A, DS3D) possuem maior poder de conversão (ultrapassando os 2000 Wp), dissipam uma maior quantidade de calor. Em decorrência a este fato, um software de controle foi implementado e, à medida que a temperatura ultrapassa um ponto máximo fixado, a condição é ativada gerando assim uma queda na potência entregue a rede pelo MI. Nestes casos, o protótipo poderia agregar valores reais de geração (APSYSTEMS, 2022).

A Figura 32 retrata o cenário descrito em um MI da mesma marca, porém modelo QS1A com 1500Wp.

Figura 32 - Demonstração em um sistema real da perda de potência em decorrência da temperatura.



Fonte: Do autor (2022).

O sistema em questão saiu da faixa de 1590 para 1400 W, ou seja, mais de 13% de redução. Ao considerar sistemas de grande porte, este número pode representar uma redução na geração considerável ao final do mês.

Conforme em Fiorelli e Zuercher-Martinson (2013) os inversores convencionais possuem arquitetura própria para gerenciamento térmico, através do uso de ventiladores e controladores acoplados. Essas e outras medidas contribuem para ajudar a preservar a vida útil dos componentes mais sensíveis à temperatura. Assim, regular a temperatura nos MIs faz-se necessário uma vez que o aumento da potência por estes entregue, pode agregar prejuízos tanto na geração, quanto físico.

5 CONCLUSÃO

O protótipo desenvolvido atuou conforme o previsto, quando inserido o controlador, foi possível ajustar a velocidade do ventilador, e informar dados pelo display. Houve um aumento considerável na dissipação térmica do MI, ultrapassando a marca de 40% na redução da temperatura, durante o ponto mais crítico de operação.

O protótipo sem o microcontrolador acoplado também impactou na redução da temperatura, sendo o custo de aquisição cerca de 50% inferior ao sistema controlado e monitorado, contudo deve-se atentar a questão do ruído e do excesso no acúmulo de poeira.

Ambos os testes realizados não interferiram na geração entregue pelo MI ao final do dia, contudo, para o modelo de MI utilizado, não houve ganho na eficiência de produção quando comparado ao sistema sem o protótipo. A instalação do sistema foi de baixa complexidade, porém agrega uma manutenção extra, caso a instalação seja de difícil acesso, pode ser um agravante na instalação deste.

REFERÊNCIAS

- AARNIOVUORI, L. et al. High-Power Solar Inverter Efficiency Measurements by Calorimetric and Electric Methods. **Ieee Transactions On Power Electronics**, v. 28, n. 6, p. 2798-2805, jun. 2013.
- ALI, A.; RAISZ, D.; MAHMOUD, K. Optimal oversizing of utility-owned renewable DG inverter for voltage rise prevention in MV distribution systems. **International Journal Of Electrical Power & Energy Systems**, v. 105, p. 500-513, fev. 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Brasil ultrapassa marca de 10 GW em micro e minigeração distribuída**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/brasil-ultrapassa-marca-de-10-gw-em-micro-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em: 12 jul. 2022.
- APSYSTEMS. **APsystems DS3D Microinverter**. 2022. Disponível em: <https://latam.apsystems.com/en/portfolio-item/ds3d/>. Acesso em: 22 ago. 2022.
- BONDARIK R., PILATTI L. A., HORST D. J. Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no brasil. **Interciência**, v. 43, n. 10, p. 680-688, 2018.
- BOSO, A. C. M. R; GABRIEL, C. P. C.; FILHO, L. R. A. G. Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos ongrid e off-grid no brasil. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 8, n. 12, 2015.
- CABRAL, Henrique Gabriel. **Estudo e desenvolvimento de um microinversor empregando o conversor cuk para microgeração fotovoltaica**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, PUC-RS, Porto Alegre, 2016.
- CHAUHAN, A.; KANDLIKAR, S. G. Characterization of a dual taper thermosiphon loop for CPU cooling in data centers. **Applied Thermal Engineering**, v. 146, p. 450-458, jan. 2019.
- CLIMATE – DATA. **Clima Pimenta (Brasil)**. 2022. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/pimenta-176464/>. Acesso em: 22 ago. 2022.
- CORTÉS, C. L. C. et al. Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio manizales. **Tecnológicas**, v. 23, n. 47, p. 1-21, 30 jan. 2020.
- CRESESB - Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Irradiância média Pimenta-MG** 2022. Disponível em: <http://cresesb.cepel.br>. Acesso em: 22 ago. 2022.
- DEBASTIANI, G. et al. Comparação do impacto da temperatura no desempenho de módulos fotovoltaicos estáticos e com sistemas de rastreamento solar (L-O, L-O + N-S). **Research, Society And Development**, v. 11, n. 4, p. 1-30, 13 mar. 2022.
- ECORI. **Oversizing e Clipping: Você está dimensionando da maneira correta seu sistema fotovoltaico**. 2019. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/oversizing-e-clipping:-voce-esta-dimensionando-da-maneira-correta-seu-sistema-fotovoltaico>. Acesso em:

22 ago. 2022.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 12 jul. 2022.

FIORELLI J.; ZUERCHER-MARTINSON M. How oversizing your array-to-inverter ratio can improve solar-power system performance. **Solar Power World**, pp. 42-46, 2013.

GROWATT. **Growatt Inverters**, Disponível em: <https://www.ginverter.pt/list-7.html>. Acesso em: 12 jul. 2022.

LYDEN, S.; HAQUE, M. Maximum Power Point Tracking techniques for photovoltaic systems: a comprehensive review and comparative analysis. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1504-1518, dez. 2015.

MONDOL, J. D.; YOHANIS, Y. G.; NORTON, B. The effect of low insolation conditions and inverter oversizing on the long-term performance of a grid-connected photovoltaic system. **Progress In Photovoltaics: Research and Applications**, v. 15, n. 4, p. 353-368, 2007.

MOŽE, M.; NEMANIČ, A.; POREDOL, P. Experimental and numerical heat transfer analysis of heat-pipe-based CPU coolers and performance optimization methodology. **Applied Thermal Engineering**, v. 179, p. 115720, out. 2020.

NIŽETIĆ, S.; PENG, Ž.; ARĐIĆ, M. Contribution to the research of an alternative energy concept for carbon free electricity production: concept of solar power plant with short diffuser. **Energy Conversion And Management**, v. 148, p. 533-553, set. 2017.

OUR WORLD IN DATA. **Renewable Energy**. 2022. Disponível em: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>. Acesso em: 22 ago. 2022.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 15 ago. 2022.

REZK, H.; ELTAMALY, A. M. A comprehensive comparison of different MPPT techniques for photovoltaic systems. **Solar Energy**, v. 112, p. 1-11, fev. 2015.

SATPATHY, P. R.; SHARMA, R. Reliability and losses investigation of photovoltaic power generators during partial shading. **Energy Conversion And Management**, v. 223, p. 113480, nov. 2020.

SEN, R.; BHATTACHARYYA, S. C. Off-grid electricity generation with renewable energy technologies in India: an application of homer. **Renewable Energy**, v. 62, p. 388-398, fev. 2014.

SOUZA, A.; ARISTONE, F. Estudo da eficiência energética de células fotovoltaicas em função da radiação solar no centro-oeste brasileiro. **Interespaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 2, n. 7, p. 115, 31 jul. 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Código desenvolvido para o sistema de controle.

```

#define pwm 3
#define pin_lm35 A1
#define fanSensor 8
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

int contAux = 0;
unsigned long sensorPulsTijd;
long medicaoVel = 0;
float out = 0.0;
float control = 0.0;
float contPrint = 0;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
byte grau[8]= {B00110,B01001,B00110,B00000,B00000,B00000,B00000,B00000,};

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pin_lm35, INPUT);
  pinMode(pwm,OUTPUT);
  pinMode (fanSensor, INPUT);
  digitalWrite(fanSensor,HIGH);
  lcd.init();
  lcd.setBacklight(HIGH);
  delay(1000);
}
void loop()
{
  out = obterTemperatura();

```

```

if(out >= 35.0){
    control = 255.0;
}
else if(out >= 30.0 && out < 35.0){
    control = 200.0;
}
else if(out >= 25.0 && out < 30.0){
    control = 150.0;
}
else control = 110;

analogWrite(pwm,control);
delay(100);
printLcd(out);
delay (5000);
}

float obterTemperatura(){
    int auxw = 5000;
    float media = 0;
    while(auxw > 0){
        float valor_analog_lm35 = float(analogRead(pin_lm35));
        float tensao = (valor_analog_lm35 * 5) / 1023;
        float temperatura = tensao / 0.010;
        media = (media + temperatura)/2;
        auxw--;
    }

    return media;
}

void printLcd(float temp){
    int auxw = 100;
    int mediav = 0;
    while(auxw > 0){
        sensorPulsTijd = pulseIn(fanSensor, LOW);

```

```
if(sensorPulsTijd>0)
{
    double frequency = 1000000/sensorPulsTijd;
    medicaoVel = 1000*frequency/60;
    mediav = (mediav + medicaoVel)/2;
}
auxw--;
}
```

```
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("PWM: ");
lcd.setCursor(5,0);
int auxPwm = control;
lcd.print(auxPwm);
lcd.setCursor(9,0);
lcd.print("TMP: ");
lcd.setCursor(13,0);
lcd.print(temp);
lcd.createChar(1, grau);
lcd.setCursor(15,0);
lcd.write(1);
```

```
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("RPM: ");
if (mediav < 3000)
{
    lcd.setCursor(5,1);
    lcd.print(mediav);
}
else
{
    lcd.setCursor(5,1);
    lcd.print("erro");
}}
```