

MODELO DE ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE PLACAS SOLARES UTILIZANDO ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Obadias Constantino Gurgel de Menezes¹, Marcos Vinicius Cândido Henriques²

Resumo: O trabalho a seguir tem como objetivo apresentar um modelo de traçador da curva $I \times V$ (corrente $\times$ tensão) de placas fotovoltaicas afim de estudar a eficiência de placas solares e compara a curva encontrada com um modelo feito em ambiente ideal, 1000 W/m^2 e 25° celsius de temperatura, assim podendo averiguar a eficiência da metodologia aplicada. Neste projeto foi implementado o método do resistor variável, para confeccionar tal protótipo foi utilizado 3 resistores de alta potência, uma placa solar de 10 W de potência e um multímetro. O circuito utiliza associação de resistores combinando-os em série e paralelo para variar o valor da resistência medida, com base na primeira Lei de Ohm temos o valor da potência uma vez que já se possui de antemão o valor da resistência utilizada e do valor da corrente elétrica, medida por um multímetro assim como a tensão. Através dessa metodologia foi possível chegar ao resultado, foi obtida as curvas $I \times V$ e $P \times V$ (potência $\times$ tensão), e, portanto o gráfico característico completo da placa solar em estudo, que apresentou o mesmo comportamento de um gráfico gerado em laboratório.

Palavras-chave: Energia solar; Placas Fotovoltaicas; Lei de Ohm; Associação de resistores.

1. INTRODUÇÃO

A implementação de placas fotovoltaicas para geração de energia elétrica, a partir da irradiação solar vem crescendo muito nos últimos anos principalmente na região nordeste do país devido à alta incidência solar com certa constância. Apesar desse crescimento na área a implementação é relativamente nova tendo ainda muito potencial para desenvolvimento e melhorias. Este trabalho tem como proposta apresentar um modelo de traçador de curva $I \times V$ dos módulos fotovoltaicos afins de possibilitar um estudo e medir sua eficiência, podendo ser usado também para diagnosticar possíveis problemas em painéis solares.

A curva característica de um painel solar, ou curva $I \times V$, é um gráfico que relaciona corrente e tensão do modulo fotovoltaico afim de demonstrar pontos importantes de seu funcionamento, tais pontos são: corrente de curto-circuito (I_{cs}); corrente de máxima potência (I_{mp}); tensão de máxima potência (V_{mp}); tensão de circuito aberto (V_{oc}); potência de pico (P_{mp}) e ponto de máxima potência (MPP) (FARIAS,2020). Estes valores são fornecidos pelo vendedor dos módulos fotovoltaicos e são obtidos em testes de laboratório com ambiente controlado, ou seja, em condições ideais de funcionamento, tais condições requerem uma irradiação de 1000 W/m^2 e 25° C de temperatura (FARIAS,2020).

A utilização de traçadores de curva $I \times V$ para painéis fotovoltaicos possibilita a averiguação desses parâmetros em condições reais de uso e em qualquer lugar que esteja instalado o painel solar, assim quando comparados os valores do fabricante e os valores encontrados podemos diagnosticar possíveis problemas, averiguar sua eficiência e possibilitar o estudo do painel solar em real situação de utilização, tornando assim o traçador de curva $I \times V$ uma ferramenta indispensável quando se esta trabalhando com placas fotovoltaicas.

O método adotado para realizar a construção do traçador de curva neste trabalho foi o método do resistor variável, tal escolha provem do fato de que este método possui um circuito base mais simples e é de relativa facilidade a aquisição dos materiais necessários para sua construção. Além

deste método existem outros que valem a pena serem citados; a técnica da carga capacitiva; técnica da carga eletrônica e o método da fonte de quatro quadrantes.

O método da carga capacitiva foi proposto em 1982 (TRETER,2018) e ainda é o método mais utilizado e seu funcionamento é relativamente simples de entender, o método consiste em colocar um capacitor em paralelo com o módulo fotovoltaico e à medida que o capacitor é carregado o circuito se move do ponto de curto-circuito para o ponto de circuito aberto, antes de iniciar uma nova medição o capacitor deve ser descarregado (TRETER,2018).

O método de carga eletrônica consiste em se utilizar um transistor de tipo MOSFET como carga para se obter os pontos do gráfico $I \times V$ da placa, fazendo uso dos 3 estágios de operação deste tipo de transistor, zona de corte, zona ativa e de saturação, a desvantagem de se utilizar esse método é a necessidade de se dissipar altos níveis de potência pelo transistor o que limita faz com que só possa ser utilizado em geradores de baixa potência (TRETER,2018).

Também temos o método da fonte de quatro quadrantes onde uma fonte permite fornecer e dissipar energia se comportando como uma carga ajustável, assim para um módulo fotovoltaico os valores do gráfico $I \times V$ seriam expressos no primeiro quadrante da fonte.

2. HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO

Apesar de sua implementação estar se dando em grande escala apenas nos últimos anos, as primeiras pesquisas e protótipos da tecnologia de energia solar e celular fotovoltaicas se data de muito tempo atrás. No ano de 1877 os inventores norte-americanos W. G. Adams e R. E. Day utilizaram as propriedades foto condutoras do selênio para desenvolver o primeiro dispositivo solido de produção de energia por exposição a luz.

A caminhada rumo as placas fotovoltaicas deve início no ano de 1953 na *Bell Lab.* com o químico Calvin Fuller ao desenvolver um processo de difusão em cristais de silício para adicionar impurezas, deste modo ele conseguiu controlar as propriedades elétricas de tais cristais originando assim o processo de Dopagem. Calvin dopou uma barra de silício com um pouco de gálio tornando o condutor, sendo as cargas móveis positivas (dopagem de tipo “p”), em seguida Gerald Person, instruído por Calvin, mergulhou a barra dopada em uma solução de lítio quente formando em sua superfície uma zona com excesso de elétrons livres (dopagem de tipo “n”) surgindo assim um campo elétrico permanente, quando exposta à luz esta barra produzia uma corrente elétrica criando assim a primeira placa solar de silício.

Após mostrar sua descoberta para seus superiores, Person continuou a desenvolver a placa solar onde encontrara diversos problemas, tais esses que limitavam sua eficiência para cerca de 4%. Calvin então começou a variar os componentes químicos da dopagem, chegou a uma solução de dopagem com fosforo e arsênio o que resultou em uma junção p-n mais estável, chegando assim à eficiência de 6%. Após sua publicação essa nova tecnologia foi primeiramente aplicada na rede de telefônica como alternativa para alimentar a rede, o sistema foi montado em outubro de 1955 e retirado em março de 1956 devido a interferências exteriores nas placas.

Até então a tecnologia das placas solares tinha um problema, ela era muito cara se justificar a implementação em locais mais públicos, sendo usada mais amplamente na época para gerar energia no espaço, vale salientar que foi em 1958 que a antiga União Soviética dava início a corrida espacial com o lançamento do Sputnik 1, a corrida espacial foi um fator decisivo para o desenvolvimento da tecnologia das placas solares, como até então essa tecnologia era muito cara para que se aplicasse em qualquer lugar, era apenas utilizada em atividades muito específicas como as missões espaciais. A NASA concordou, com muita relutância, em acoplar um sistema pequeno de alimentação por energia solar no *Vanguard 1* como *back-up* das, até então convencionais, pilhas químicas que alimentavam os satélites, após a falha da pilha baseada em isótopos radioativos, o pequeno painel solar de cerca de 100 cm² que gerava cerca de 0,1W manteve o transmissor de 5 mW funcionando durante de 8 anos, excedendo as expectativas, agora

os painéis solares foram adotados pela agência de exploração espacial que, como consequência, ganhava novas pesquisas e avanços na área.

Com o sucesso da implementação em missões espaciais, a tecnologia das placas solares foi ganhando avanços, tais como a substituição do único grande contado frontal por contados mais finos e numerosos em 1960 o que diminui a resistência e aumentou a eficiência, outro importante avanço foi o desenvolvimento da chamada “célula violeta” que usava uma zona de dopagem de tipo “n” muito mais fina que aumentava sua eficiência em para 13,5%. Se até então o desenvolvimento das placas solares se dava através da corrida espacial, sua aplicação começará a ir além, pois foi em nessa época que a empresa SOLAREX de Joseph Lindmeyer começava a implementar essa tecnologia na alimentação de sistemas de telecomunicações remotos e boias de navegação, essa implementação se deu principalmente por não haver alternativas a energia solar até então.

Como último grande marco na história do desenvolvimento das placas fotovoltaicas, no ano de 1973 com a cresce das petrolíferas, muitos investidores se voltaram para o maior desenvolvimento de alternativas a fabricação de energia, assim agora a pesquisa com energia solar se voltou para baratear os custos de produção afim de tornar a tecnologia mais acessível para uma implementação de longa escala, referente a isso podemos observar os mais importantes avanços como, a utilização do silício policristalino como substituição da única peça de silício que era muito mais cara de se produzir, também a produção de silício em fitas o que eliminava os cortes dos lingotes e todos os custos envolvidos Outra inovação importante no aspecto econômico foi a deposição de contacto por serigrafia em vez das técnicas tradicionais: a fotolitografia e a deposição por evaporação em vácuo. Após esses e outros avanços o custo da eletricidade solar caiu de 80 US\$/W para cerca de 12 US\$/W em menos de 10 anos (VALLÊR,2006).

3. METODOLOGIA

A energia do sol que incide no nosso planeta chega até aqui na forma de radiação e calor, ao longo do tempo a humanidade vem desenvolvendo métodos para aproveitar essa energia natural, uma delas e o aquecimento de água por meio da energia solar, esta forma de aproveitamento da energia solar consiste em circular água em dutos que conduzam bem o calor expostos diretamente a luz solar, assim a água que circula estes dutos serão aquecidos por meio da energia solar.

Existe também a transformação da energia solar em energia elétrica, este método se dá através das chamadas placas solares ou fotovoltaicas, estes dispositivos compostos por material semicondutor (comumente o silício) é capaz de transformar a energia do proveniente do sol em energia elétrica. O efeito fotovoltaico é o princípio que permite que tal transformação ocorra, ao ser exposto à luz do sol, os painéis desencadeiam uma reação interna, a movimentação dos elétrons proveniente da absorção dos fótons por parte dos mesmos gera uma corrente elétrica, assim se dando a transformação da energia solar em energia elétrica.

O desenvolvimento destas placas solares é de extrema importância para que se possa avançar com esta tecnologia, assim para o estudo da eficiência destas placas muitos métodos foram desenvolvidos como já citado, para este projeto foi escolhido o método do resistor variável que através da Lei de Ohm, podemos obter os valores do desempenho destas placas e assim desenvolver seu estudo.

3.1 CURVA CARACTERISTICA $I \times V$

Para realizar a medição da eficiência de uma placa solar temos que ter o conhecimento de alguns valores específicos que nos mostram seu desempenho. Nas chamadas condições ideais, ou condições de laboratório, é possível desenvolver um gráfico que relaciona corrente (I) e tensão (V) assim como também o gráfico que relaciona a potência (P) com a tensão (V), estes gráficos são importantes para esses estudos pois é através deles que podemos identificar com maior facilidade os valores que para nós são importantes. A chamada curva característica de uma placa

solar tem uma aparência específica nas condições ideais, a 25°C de temperatura e com uma irradiação de 1000 W/m² (VILLALVA,2019), essa irradiação é feita utilizando placas de LED para poder controlar a irradiação luminosa incidente sobre a placa, seguido essas condições a curva característica tem o seguinte formato:

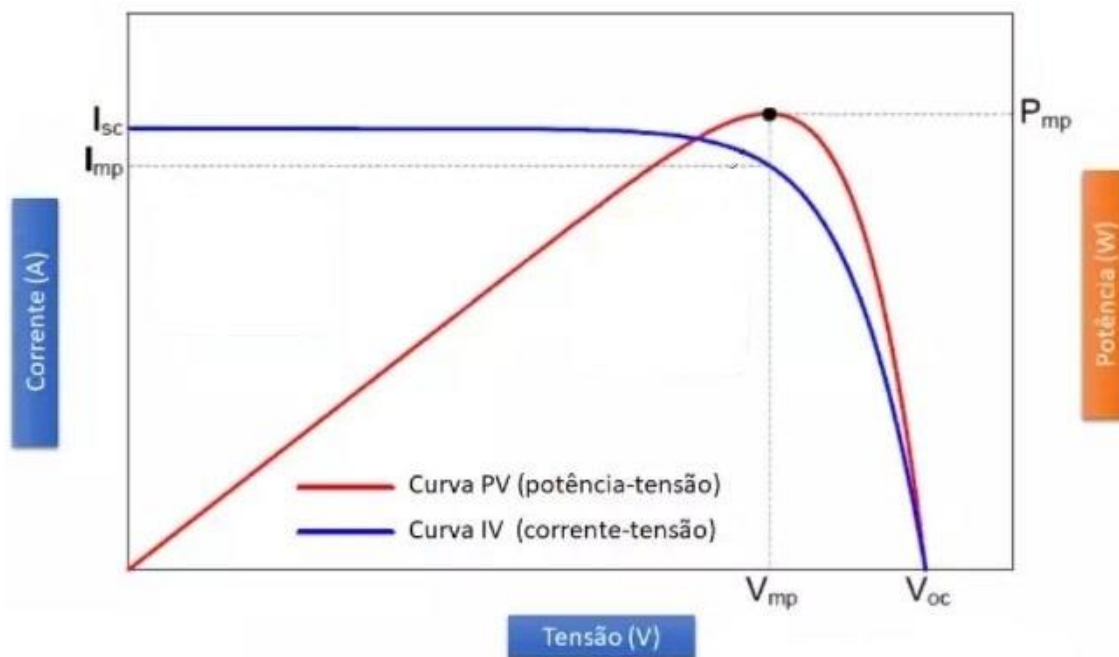


Figura 01 – curva características ideais PV e IV (imagem editada). (Fonte original: VILLALVA,2019).

Através deste gráfico podemos identificar os pontos importantes do desempenho de um painel fotovoltaico, são eles:

I_{sc} . – Corrente de curto circuito, é a corrente máxima que o módulo fornece.

I_{mp} . – Corrente de máxima potência, corrente fornecida pelo módulo operando em seu ponto de maior potencial

V_{mp} . – Tensão de máxima potência, tensão que o módulo fornece em seu ponto de maior potencial

V_{oc} . – Tensão de circuito aberto, é o valor de tensão medido dos terminais aberto do módulo fotovoltaico

P_{mp} . – Ponto de máxima potência, ponto da curva onde se obtém o valor máximo de potência do módulo

Estes valores, assim como este gráfico, são gerados pelos fabricantes dos módulos fotovoltaicos e são obtidos em teste laboratoriais em ambientes controlados para se obter os máximos valores dos módulos, assim como já sabemos que as condições de ambiente ideal para o funcionamento destes módulos são de uma temperatura de 25°C e com uma irradiação de 1000 W/m² podemos também observar as mudanças nestes gráficos provenientes de alterações nestas condições de ambiente:

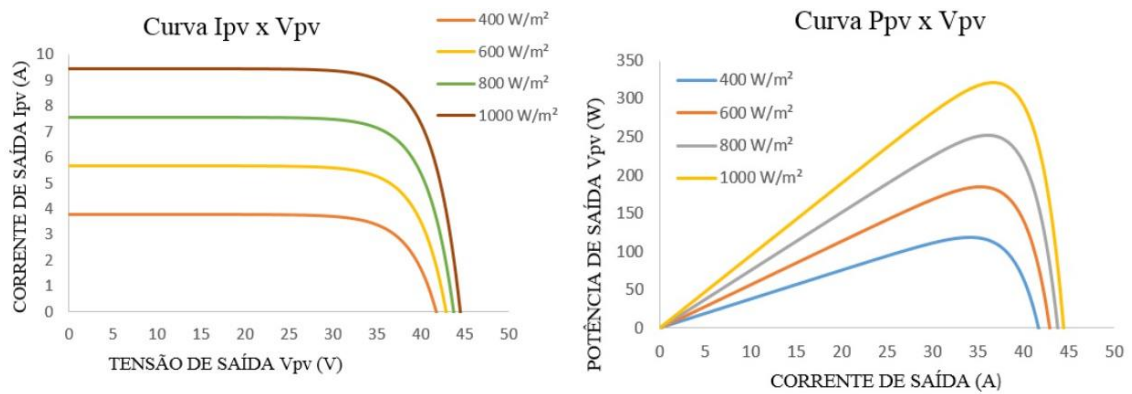


Figura 02 – Influência da irradiação solar nos gráficos IV e PV. (Fonte: BESERRA, 2019).

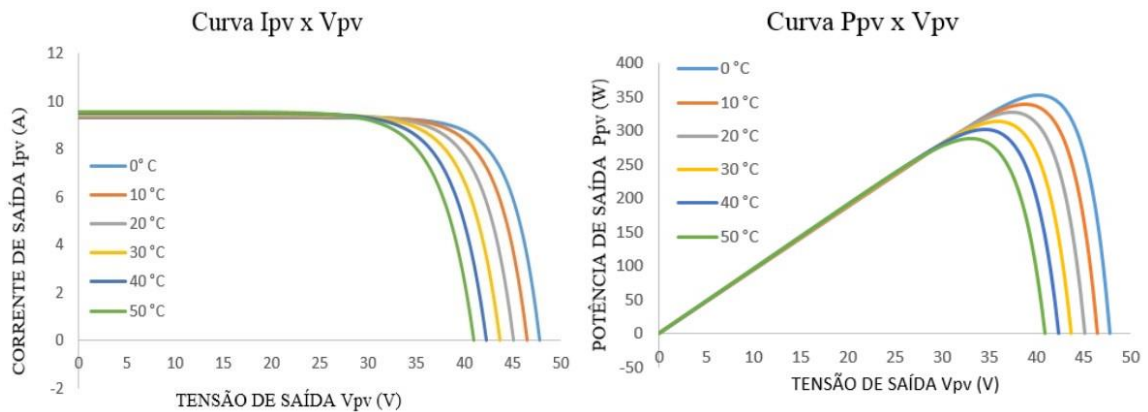


Figura 03 – Influência da temperatura nos gráficos IV e PV. (Fonte: BESERRA, 2019).

Podemos observar que ao variar os parâmetros de temperatura e irradiação solar o comportamento do gráfico obtido muda. Assim se variamos a temperatura mantendo a irradiação luminosa constante podemos perceber que o valor de tensão final muda, diminuindo conforme a temperatura aumenta, já se mantemos a temperatura constante e variamos os valores de irradiação solar percebemos que, quanto mais irradiação solar o módulo recebe maior será a sua corrente inicial, obtendo assim uma maior potência, (BESERRA, 2019). Podemos concluir então que a temperatura está relacionada de forma mais significativa com a tensão e a irradiação está mais relacionada com o valor de corrente inicial.

3.2 LEI DE OHM

A Lei de Ohm foi formulada por Georg Simon Ohm no ano de 1827 (COSTA, 2013) foi um marco na história da eletricidade, essa lei fez a relação entre tensão, resistência e corrente o que possibilitou o avanço de quaisquer tecnologias e trabalhos que envolvessem eletricidade. Após seus experimentos e observações, o físico alemão chegou à conclusão que as grandezas elétricas se relacionavam através da relação matemática:

$$V = R * I \quad (1)$$

Onde U é referente ao valor de tensão, R é referente ao valor da resistência total do circuito e I é referente ao valor de corrente total do circuito (HALLIDAY, 2014).

Através dessa relação podemos encontrar valores de grandezas elétricas a partir de outras que já conhecemos, além desta também será importante citar a relação matemática para potência (W) que é dada da seguinte forma:

$$P = R * I^2 \quad (2)$$

Onde P é referente ao valor de potência, R é referente ao valor da resistência total do circuito e I é referente ao valor de corrente total do circuito (HALLIDAY,2014).

Estas relações matemáticas foram parte fundamental do projeto pois foi através delas que podemos chegar aos valores de tensão e potência que desejávamos para montar o gráfico característico da placa solar.

3.3 METODO DO RESISTOR VARIÁVEL

Como já foi mencionado existem diversos métodos para se obter a curva característica de painéis fotovoltaicos, para este trabalho foi escolhido o método do resistor variável por este ser o método de maior simplicidade e na sua constituição e implementação.

Este método consiste no uso de um resistor que possa variar o valor de sua resistência de valores muito baixo ou zero até valores muito altos, ou seja, em modelos ideais o resistor deve variar sua resistência de zero ao infinito. Ao aplicar a potência da placa solar neste resistor variável é possível se obter os pontos da curva característica do painel solar conforme se vai variando o valor de resistência da carga através da Lei de Ohm.

Uma vez que o valor da Resistência já é conhecido, o valor da corrente pode ser obtido através de um amperímetro ligado em série com o circuito, é possível aplicar a lei de ohm para se obter, tanto o valor da tensão como o valor da potência da placa. Assim com os valores de tensão e potência, obtidos através da variação do valor da resistência e da aplicação da lei de ohm, e usando o amperímetro para saber o valor da corrente, é possível montar o gráfico da curva característica do painel solar em estudo.

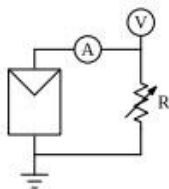


Figura 04 – Modelo do método de resistor variável. (Fonte: TRETER,2018).

4. MATERIAIS E MONTAGEM

Para realização do circuito empregado neste trabalho foi utilizado um módulo fotovoltaico de 10 watts de potência, 3 resistores de 10, 100, e 220 ohms de resistência todos com 100 watts de potência, um multímetro utilizado para medir os valores de tensão e corrente do arranjo de resistores segue uma relação dos componentes utilizados:

Modulo fotovoltaico:



Figura 05 – Módulo fotovoltaico (comparativo de tamanho com moeda). (autoria própria,2021)

Resistores de alta potência:



Figura 06 – Resistor de alta potência (comparativo de tamanho com moeda). (autoria própria,2021).

Multímetro:



Figura 07 – Multímetro utilizado (comparativo de tamanho com moeda). (autoria própria,2021).

A montagem do circuito foi feita a mão, dispondo os resistores tanto unitariamente (fazendo a medição com um resistor por vez) tanto como utilizando associações de série e paralelo para variar o valor da resistência da maneira mais ampla possível. Foi feita a medição em cada um dos arranjos utilizando o multímetro nas funções de amperímetro (para medir a corrente), e voltímetro (para medir a tensão nos terminais dos arranjos).

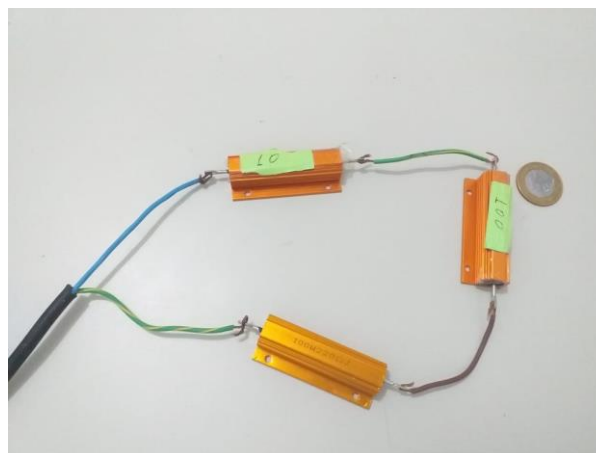


Figura 07 – Associação de resistores em serie (comparativo de tamanho com moeda). (autoria própria,2021).

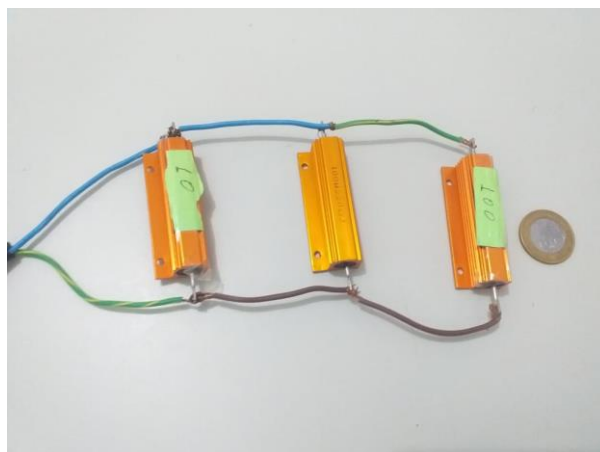


Figura 08 – Associação de resistores em paralelo (comparativo de tamanho com moeda). (autoria própria,2021).

Uma vez obtido os valores da tensão e de corrente foi tomado nota dos valores e encaminhados a uma tabela onde foram dispostos para análise e montagem do gráfico.

5. OBTENÇÃO DE DADOS

A obtenção dos dados utilizados foi feita unicamente através do multímetro onde foi utilizado duas funções, amperímetro para medir o valor da corrente do arranjo e a função de voltímetro para medir a tensão nos terminais do arranjo. Uma vez obtidos os dados, estes foram transpostos para seguinte tabela construída no Excel para fins de organização:

TABELA DE DADOS OBTIDOS				
Arranjo da associação de resistores	Resistencia equivalente (Ω)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
A//B//C	8,70	5,20	0,62	3,34
A//B	9,10	5,30	0,60	3,28
A//C	9,70	5,60	0,60	3,49
A	10,00	5,00	0,53	2,81
B//C	68,75	18,70	0,28	5,39
B	100,00	19,30	0,20	4,00
A_B	110,00	19,10	0,18	3,56
C	220,00	19,60	0,09	1,78
A_C	230,00	19,50	0,08	1,47
B_C	320,00	19,50	0,06	1,15
A_B_C	330,00	19,60	0,06	1,19

Tabela 01 – Relaciona os dados obtidos de tensão, corrente e potência com seu respectivo arranjo de resistores, assim como sua resistência equivalente. (autoria própria,2021).

Legenda:

- Valores dos resistores:
- A = 10Ω ;
- B = 100Ω ;
- C = 220Ω .
- O símbolo “//” representa uma associação paralela entre resistores. Exemplo: A//B (resistor A paralelo com resistor B)

- O símbolo “_” representa uma associação em série entre resistores. Exemplo: A_B (resistor A em série com resistor B).

Utilizando a Primeira Lei de Ohm podemos obter os valores das potências em cada arranjo utilizando a equação (2).

Os valores de tensão e corrente vistos na tabela foram obtidos utilizando um multímetro. Para medir tensão foi utilizado o multímetro na função de voltímetro na escala de 200 V CC, para medir os valores de corrente foi utilizado a função amperímetro na escala de 10 A.

Vale salientar também que os valores de tensão e corrente sem arranjos de resistores, ou seja, sua tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito estavam apresentando valores no momento da medição de:

Tensão: 20V

Corrente: 0,62A

Logo a potência poderá ser calculada relacionado a equação (2) e a equação (1) da seguinte maneira:

$$U = R * I \Rightarrow R = \frac{V}{I}, \text{ logo;}$$

$$P = R * I^2 \Rightarrow P = \frac{V}{I} * I^2 \Rightarrow P = V * I$$

Assim a potência será de: $P = 20 * 0,62 = 12,4W$

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Após a experimentação e a obtenção de dados foi gerada a curva característica da placa fotovoltaica em estudo utilizando os dados obtidos, a curva característica $I \times V$ relaciona corrente e tensão e a curva $P \times V$ que relaciona potência com a tensão do módulo em estudo.

Para o desenvolvimento da curva característica a tabela 01 foi dividida em 2 tabelas relacionado os valores de tensão e corrente para a curva $I \times V$ e outra relacionando os valores de potência e tensão para a curva $P \times V$.

GRAFICO I×V		GRAFICO P×V	
Tensão (V)	Corrente (A)	Tensão (V)	Potência (W)
0,00	0,62	0,00	0,00
5,00	0,62	5,20	3,34
5,20	0,60	5,30	3,28
5,30	0,60	5,60	3,49
5,60	0,53	5,00	2,81
18,70	0,28	18,70	5,39
19,30	0,20	19,30	4,00
19,10	0,18	19,10	3,56
19,60	0,09	19,60	1,78
19,50	0,08	19,50	1,47

19,50	0,06	19,50	1,15
19,60	0,06	19,60	1,19

Tabela 02 – Dados para montar os gráficos IV (relação de tensão e corrente) e PV (relação de tensão e potência).
(autoria própria,2021).

Com os valores da tabela 02 é possível montar os gráficos de desempenho da placa solar $I \times V$ e $P \times V$.

Os valores encontrados através das experimentações foram obtidos em um ambiente real de uso de um modulo fotovoltaico, assim o gráfico retrata o comportamento pratico do modulo nas conduções de uso residencial, as medições foram feitas no horário em que o sol estava a pino (no intervalo entre meio dia e uma ora) com o modulo solar posicionado diretamente contra os raios solares, livre de qualquer sombreamento a fim de se obter a máxima eficiência da placa.

Curva característica $I \times V$:

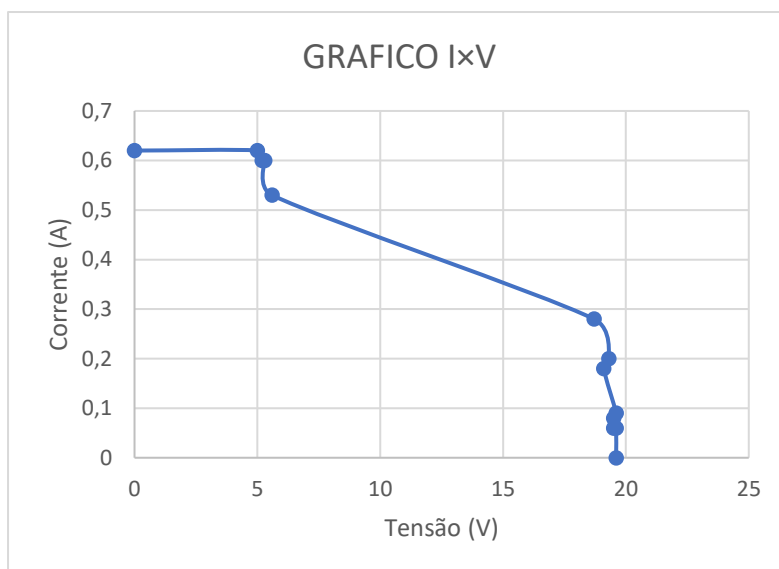


Gráfico 01 – Demonstra comportamento do modulo em estudo a partir dos seus valores de corrente e tensão. (autoria própria,2021).

Curva característica $P \times V$:

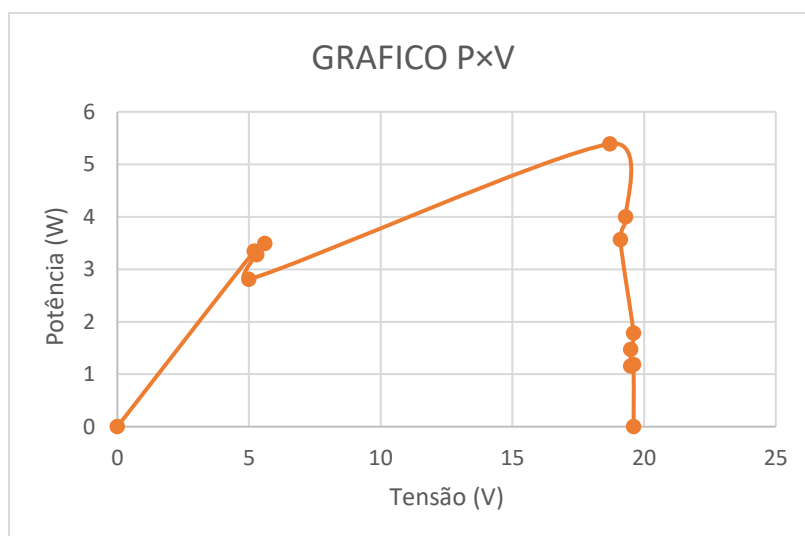


Gráfico 02 – Demonstra comportamento do modulo em estudo a partir dos seus valores de potência e tensão. (autoria própria,2021).

Gráfico mesclado das curvas $I \times V$ e $P \times V$:

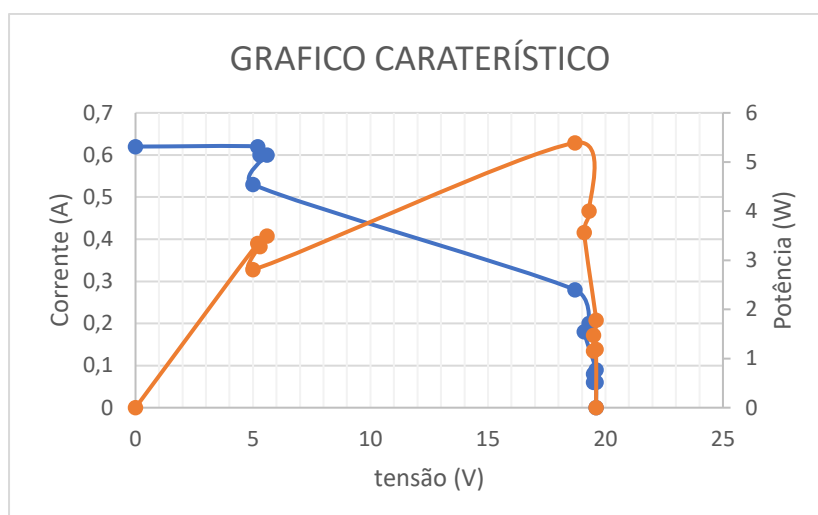


Gráfico 03 – Demonstra o comportamento e desempenho do módulo fotovoltaico em estudo. (autoria própria,2021).

Os gráficos de desempenho do painel fotovoltaico demonstram o comportamento do módulo em estudo em um ambiente real de uso mostrando de uma maneira visual mais compreensível seus pontos de máxima potência, em que período sua corrente e máxima e mínima relacionados a tensão do módulo.

Ao comprar os gráficos obtidos com o estudo de um módulo em ambiente real de uso, com um no modelo ideal de luminosidade e temperatura podemos perceber a diferença no comportamento da placa, observamos assim a importância do estudo em ambas as condições de uso.

Modelo ideal:

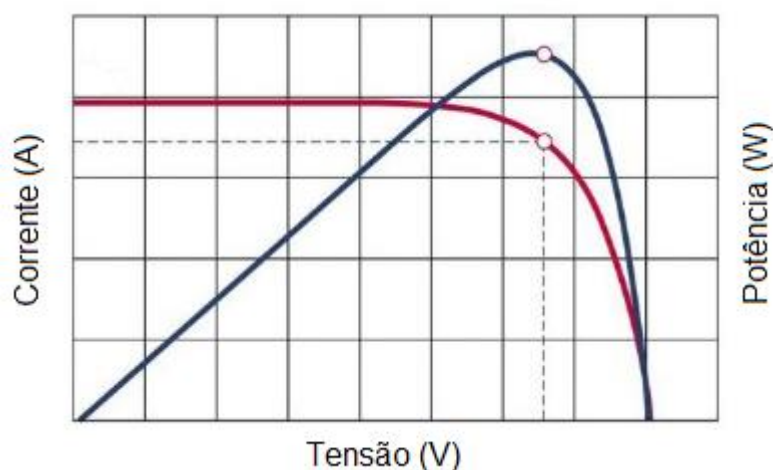


Figura 10. Curvas ideais de módulos fotovoltaicos. (imagem editada). (Fonte original: CARNEIRO).

Assim Com os resultados em mãos, podemos fazer o comparativo do gráfico encontrado com o gráfico de modelo real, percebemos então que o gráfico encontrado apresenta um comportamento parecido com o gráfico ideal obtido em laboratório. Entretanto podemos perceber, também, algumas diferenças quanto aos dois gráficos, podemos ver que o modelo encontrado, por ser obtido em um ambiente real existe variações que se devem a este ambiente, estas variações se dão devido a própria irradiação do sol que não é constante assim como a temperatura do próprio painel, ao se aferir as medições com o passar do tempo o painel vai aumentando a temperatura, o que interfere na aferição dos dados.

Podemos listar também outros fatores como temperatura ambiente, como está em um ambiente não controlado a temperatura também influencia na obtenção dos dados, como o objetivo deste projeto é fazer o comparativo dos gráficos obtidos em ambientes reais de uso e ambientes ideais em laboratórios, estas variações eram esperadas.

7. CONCLUSÃO

Ao termino deste trabalho se obteve as curvas características de um modulo fotovoltaico $I \times V$ e $P \times V$ de 10 W de potência utilizando o modelo de resistor variável, ao se comparar o gráfico encontrado em um ambiente real de uso com um gráfico obtido em ambiente ideal e controlado podemos ver que o gráfico encontrado apresenta o mesmo comportamento de um gráfico ideal, as diferenças que se podem notar se devem as variações de irradiação solar, variação de temperatura do ambiente e do modulo, assim sendo impossível se obter o mesmo gráfico em um ambiente de uso. Apesar disso se pode notar, na área próxima a 5 Volts que ocorre uma anomalia no gráfico, essa anomalia pode estar associada ao aumento na temperatura nos resistores usados, ao se aumentar a temperatura dos mesmo, os resistores mudam sua resistência interna deixando de obedecer a Lei de Ohm assim causado essa anomalia.

Pudemos observar também que na área entre 5 e 15 volts não existe pontos para que o gráfico possa ter uma continuidade, esse problema poderia ser solucionado com a adição de mais resistores com valores entre 10 e 100 ohms de resistência, outra fator que pode melhorar a qualidade dos resultados é a utilização da soldagem de condutores, coisa essa que não foi possível ser implementada no projeto, apesar disso o podemos observar que o resultado do projeto foi alcançado, uma vez que a curva encontrada apresentou o comportamento de uma curva ideal, assim constatando a eficácia do método do resistor variável utilizando associação de resistores, ao termino do projeto foram encontrados resultados bons e significativos para o estudo validando a metodologia aplicada para o desenvolvimento do projeto.

8. REFERÊNCIAS

BESERRA, Amanda Santiago et al. Simulação e análise da influência da radiação e temperatura no desempenho de módulos fotovoltaicos. 2019.

CARNEIRO, Rafael Kotchetkoff; POMILIO, Jose Antenor; VARGAS, Talles Viana. DESENVOLVIMENTO DE TRAÇADOR DE CURVA IV PORTÁTIL PARA CARACTERIZAÇÃO DE ARRANJOS FOTOVOLTAICOS ATÉ 400V E 10A. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2018.

COSTA, Sônia Isabel Nunes et al. **Lei de Ohm**. 2013. Tese de Doutorado.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. Fundamentos de Física. 9. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2014, v. 3.

FARIAS, Luís Eduardo Saldanha et al. Protótipo de traçador de curva $I \times V$ pelo método de resistor variável, usando relés. Com teste em modulo FV avariado. 2020.

TRETER, Marcos Eduardo; MICHELS, Leandro. MÉTODOS DE AQUISIÇÃO EXPERIMENTAL DE CURVAS IV DE ARRANJOS FOTOVOLTAICOS: UMA REVISÃO, 2018.

VALLÊRA, Antônio M.; BRITO, Miguel Centeno. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, v. 1, n. 2, p. 17, 2006.

VILLALVA, Marcelo. (2019). Entendo as curvas IV e PV dos módulos fotovoltaicos. Canal solar. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/entendendo-as-curvas-iv-e-pv-dos-modulos-fotovoltaicos/> > acessado em 05 novembro de 2021.