



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SAVIO PAIVA BRASIL

PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA CIRCUITOS DE BAIXA TENSÃO

PAU DOS FERROS – RN

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SAVIO PAIVA BRASIL

PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA CIRCUITOS DE BAIXA TENSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção da aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em cumprimento às exigências legais como requisito para à obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Dr. Hidalyn Theodory Clemente Mattos de Souza

PAU DOS FERROS – RN

2020

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a)

B794p

Brasil, Sávio.
Painéis Fotovoltaicos para circuitos de baixa
tensão / Sávio Brasil. - 2020.
42 f. : il.

Orientador: Hidalyn Souza.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido,
Curso de Ciência e Tecnologia, 2020.

1. Fontes renováveis de energia. 2. Painéis fotovoltaicos. 3. Circuitos de
baixa voltagem. 4. Arduinos. I. Souza, Hidalyn, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Em memória do meu avô Milton Brasil.

A toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, por ter me ajudado a permanecer de pé mesmo em momentos difíceis e que em nenhum momento me desamparou.

Agradeço a toda minha família e amigos, por todo apoio e por ter cuidado de mim em todos os momentos, em especial a minha mãe Socorro Rodrigues por acreditar e me apoiar no meu sonho; se não fosse ela fazendo de tudo por mim, esse sonho não teria sido realizado.

Também agradeço ao meu orientador Hídaly, por todos os ensinamentos, disponibilidade e paciência para a realização deste trabalho. Agradeço também a banca examinadora por ter aceitado o convite em trazer contribuições para o referido projeto.

RESUMO

O Sol é uma estrela fundamental para a existência de vida sobre a Terra, desempenhando um papel indispensável. Nos últimos séculos adquiriu mais um grande papel, visto que a partir do seu brilho é possível gerar energia elétrica. Esse método gerador de energia vem se destacando cada vez mais, pois é completamente renovável e inesgotável, com impacto negativo mínimo ao nosso planeta. Afirme-se que na sociedade atual é praticamente impossível viver sem energia elétrica, e que ela está presente em todo momento do nosso dia-a-dia. Contudo, este trabalho tem como objetivo analisar e compreender o funcionamento dos painéis fotovoltaicos, para que dessa forma possamos usá-los em sistemas de baixa voltagem. Existem muitos dispositivos de baixa voltagem como, por exemplo, medidores de tráfego, Arduinos entre outros. Esses dispositivos na maioria das vezes são alimentados por grandes fontes, sendo que por se tratarem de aparelhos de baixa voltagem poderiam ser alimentados por painéis fotovoltaicos de baixa voltagem, é o que será explanado neste trabalho.

Palavras-chave: Fontes renováveis de energia. Painéis fotovoltaicos. Circuitos de baixa voltagem. Arduinos.

ABSTRACT

The Sun Star is fundamental to the existence of life on earth, playing an indispensable role. In recent centuries it has acquired another great role, since from its brightness it is possible to generate electricity. This energy-generating method is becoming increasingly prominent as it is completely renewable and inexhaustible, with minimal negative impact on our planet. It should be said that in today's society it is practically impossible to live without electricity, and that it is present at all times in our daily lives. However, this work aims to analyze and understand the operation of photovoltaic panels, so that we can use them in low voltage systems. There are many low voltage devices such as traffic meters, Arduinos among others. These devices are most often powered by large sources, and because they are low voltage devices could be powered by low voltage photovoltaic panels, is what will be explained in this paper.

Keywords: Renewable energy sources. Photovoltaic panels. Low voltage circuits. Arduinos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Comparação entre materiais semicondutores.....	6
Figura 2.2 Dopagem de semicondutores	9
Figura 2.3 Componentes do painel solar.	11
Figura 2.4 Interconexão de células	12
Figura 2.5 Diodos	13
Figura 2.6 Sentidos dos Diodos	14
Figura 2.7 Painéis fotovoltaicos em serie	15
Figura 2.8 Painéis fotovoltaicos em paralelo.....	15
Figura 2.9 Painéis solares em tamanhos diversos.....	16
Figura 2.10 Eficiência do aproveitamento da luz do sol, em comparação com o avanço tecnológico, ou seja, com o passar dos anos.....	17
Figura 2.11 Célula de silício sobre presença e ausência da luz do sol	18
Figura 2.12 Ilustração de um arduino	20
Figura 3.1 Diferencial potencial (v) x Corrente elétrica (i)	23
Figura 3.2 Tempo de carregamento de uma bateria	24
Figura 3.3 Diagrama do circuito ligado a protoboard.....	25
Figura 3.4 Diagrama do circuito ligado a bateria	25
Figura 3.5 Diagrama do circuito final.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Valores máximos e mínimos	19
------------	---------------------------------	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONVERSÃO DE ENERGIA E SUAS TECNOLOGIAS	1
1.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS	1
1.3 EVOLUÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	2
1.4 OBJETIVOS DESTE TRABALHO.....	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 TRANSFORMAÇÃO ELÉTRICA	4
2.2 SEMICONDUTORES.....	6
2.3 DOPAGEM	8
2.4 COMPOSIÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	10
2.4.1 Interconexão das células fotovoltaicas	12
2.4.2 Diodos	13
2.5 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS E SEUS DIMENSIONAMENTOS	14
2.6 EFICIÊNCIA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	17
2.6.1 Ausência do Sol	18
2.7 DISPOSITIVOS DE BAIXA TENSÃO	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
MONTAGEM E APLICAÇÃO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO	22
3.1 CONSTRUÇÃO DO PAINEL SOLAR	22
3.2 MONTAGEM DO MÓDULO	22
3.3 PLANO TÉCNICO DE UM CIRCUITO COM ALIMENTAÇÃO FOTOVOLTAICA	24
3.4 CONSTRUÇÃO E DIAGRAMA DO CIRCUITO.....	25
5. CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS	29

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONVERSÃO DE ENERGIA E SUAS TECNOLOGIAS

Em Física o significado da palavra “trabalho” é descrito como a medida da energia transferida (do sistema ou para o sistema) devido à aplicação de uma força ao longo de um deslocamento. Já o conceito da palavra “energia”, se refere ao potencial inato para executar trabalho ou realizar uma ação. Isso se trata de uma definição circular. Segundo Alberto Gaspar: “Os físicos sabem muito de energia conhecem inúmeras formas de energia e expressões matemáticas para calcular o seu valor, sabem que é algo indestrutível na natureza cujo valor total num determinado fenômeno é sempre o mesmo, mas não sabem o que é energia” (GASPAR,2000).

Existem muitas formas de energia. Uma delas é a energia potencial gravitacional armazenada, por exemplo, em um corpo numa determinada altura; durante a queda, a energia potencial se converte em energia cinética, que posteriormente, pode ser transformada em energia elétrica. Existe também a energia potencial química, por exemplo, armazenada em pilhas. Temos também a energia potencial nuclear, aonde sua fonte advém do interior dos núcleos onde ocorre a fissão. Outra energia bastante comum é a eólica, provinda dos ventos, e finalmente temos a energia solar, onde sua principal fonte é nossa estrela o Sol.

A conversão de energia solar em energia elétrica é feita com o uso de um painel fotovoltaico, dispositivo esse que é feito de materiais semicondutores como o silício e outros elementos que serão comentados mais a frente. Os raios solares (fótons) emitidos pelo Sol chegam ao nosso planeta e são convertidos em energia elétrica. A energia armazenada nesses fótons é transferida para os elétrons presentes no painel, que então ganham a capacidade de movimentar-se e deslocassem para as camadas mais externas desse material. E com esses elétrons que é gerado a energia elétrica.

1.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Chama-se de Energia Renovável toda a energia advinda de uma fonte considerada limpa; mas o que seria essa “energia limpa”? É denominada energia limpa toda aquela energia que não agride nosso planeta, ou que apresenta impacto negativo mínimo ao ambiente. Usar uma energia limpa é o jeito mais gratificante para nosso planeta para compensar as emissões de CO₂. De acordo com o site Ecycle, a fonte

de energia mais usada ainda é o carvão, com o consumo mundial de mais de 28%, contra quase 13% de energias renováveis, como hidrelétrica, solar e eólica.

A partir de pesquisas já realizadas e a crescente preocupação com o impacto ambiental e sustentável e do uso convencional de combustível com intuito de produzir energia limpa e sustentável em quantidades substanciais a partir de fontes de energia renováveis, observa-se um crescente interesse em todo o mundo nessa área. No presente trabalho apresentamos uma visão sobre um dos principais tipos de energia renovável; estamos falando da energia solar. Além disso, será apresentado os princípios físicos e tecnológicos subjacentes à energia renovável e examinar o impacto ambiental e as perspectivas de diferentes fontes de energia.

1.3 EVOLUÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Nosso planeta passou por muitos períodos evolutivos até a chegar a atual era tecnológica. Apesar de tudo ter começado com a descoberta da energia elétrica para uso residencial, somente com o envio do homem à lua deu-se início a era tecnológica, também conhecida por permitir uma maior expansão de informações. Destarte, nos dias de hoje podemos categoricamente afirmar que a energia elétrica, assim como a água, se tornou essencial para nossa vida.

A descoberta da forma de energia advinda da conversão em painéis fotovoltaicos é revolucionária e se trata de um método que utiliza a energia dos fótons de luz emitidos pelo Sol. Uma alternativa que vem cada vez mais se destacando por se tratar de fonte renovável e sustentável.

Destaque-se a importância desse meio de geração de energia elétrica, bem como a necessidade de compreender os métodos aplicados nesse processo, para que isso possibilite a elaboração e a criação de placas solares cada vez menores e, ao mesmo tempo, mais eficientes. Em vista disso, este trabalho busca o desenvolvimento e conhecimento acerca de painéis fotovoltaicos dentro de uma perspectiva futura sobre a possibilidade de obter em prática um dispositivo de conversão fotovoltaica capaz de alimentar dispositivos eletroeletrônicos.

Assim, pretende-se o desenvolvimento de um estudo sobre painéis fotovoltaicos para dispositivos de baixa corrente elétrica, uma vez que estes necessitam de uma tensão de aproximadamente 5V (corrente cerca de 200mA) para seu funcionamento. Como exemplo de dispositivos que trabalham nesse intervalo de corrente pode-se mencionar o

Arduino. A nossa proposta levará em conta painéis que serão dimensionados em tamanho adequado para o dispositivo Arduino, de modo que o aparelho eletroeletrônico a ele ligado realize todas as suas atividades com a maior eficiência possível.

1.4 OBJETIVOS DESTE TRABALHO

O presente trabalho tem o propósito de estudar e compreender o funcionamento dos painéis fotovoltaico, pois a partir dos resultados deste estudo espera-se o desenvolvimento de um mini painel fotovoltaico, onde vamos usa-lo como fonte de energia para carregar a bateria de um circuito.

Os resultados deste estudo proporcionarão benefícios para futuras pesquisas acerca desse assunto, pois a partir desta pesquisa poderemos colaborar/contribuir com a possibilidade de construir um protótipo de painel solar para alimentar circuitos de baixa voltagem, bem menores que os disponíveis atualmente.

Além disso, estaremos incentivando o discente que deseja ingressar na área da engenharia elétrica, ou computação, pois é um projeto interdisciplinar, onde nele colocamos em prática conhecimentos adquiridos durante o período letivo, englobando esse conhecimento para a construção do protótipo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TRANSFORMAÇÃO ELÉTRICA

A luz solar leva aproximadamente oito minutos e vinte segundos para sair do Sol e atingir o planeta Terra, percorrendo no vácuo uma distância média de 150 milhões de quilômetros. Os raios provenientes do Sol que incidem sobre a Terra podem ser usados como uma fonte de transformação de energia renovável, pois são compostos por fótons e, a partir deles, é possível a geração de energia elétrica útil para o funcionamento de eletroeletrônicos e mesmo residencial.

O avanço da tecnologia é decorrente de vários estudos e pesquisas que proporcionam o crescimento da ciência e, por conseguinte, a criação de novos meios de desenvolvimento de energia elétrica está entre suas conquistas.

O famoso físico francês Alexandre Edmond Becquerel, no ano de 1839, atuava em pesquisas e experimentos quando observou que a exposição à luz, eléctrodos de platina ou de prata davam origem a corrente elétrica. Essa observação foi determinante para a construção da primeira célula fotovoltaica e na criação da primeira placa solar com a utilização do material descoberto por Becquerel.

No entanto, após a criação da placa de eléctrodos de platina ou de prata, foi feita uma nova descoberta, dessa vez com o uso do selênio, que possuía maior eficiência com os fótons solares.

Com essa inovação, aos 4 de fevereiro de 1873 fora enviada uma carta pelo engenheiro elétrico Willoughby Smith ao engenheiro Latimer Clark, onde restou descrito a produção da primeira célula fotovoltaica e a descoberta do efeito fotovoltaico no selênio.

Expondo que foi um acidente inesperado, o conteúdo dessa carta dizia que:

“Desejando obter uma alta resistência mais adequada para uso na Estação Shore em conexão com meu sistema de teste e sinalização durante a submersão de longos cabos submarinos, fui induzido a experimentar barras de selênio - um metal conhecido de alta resistência. Obtive várias barras, com comprimento variando de 5 cm a 10 cm e diâmetro de 1,0 mm a 1,5 mm. Cada barra foi hermeticamente selada em um tubo de vidro e um fio de platina projetado de cada extremidade para fins de

conexão. Ao investigar a causa de tão grandes diferenças na resistência das barras, verificou-se que a resistência alterava-se materialmente de acordo com a intensidade da luz a que estavam sujeitas.” (Instituto Superior Técnico, 2004).

Charles Fritts conseguiu aumentar a eficiência para aproximadamente 1% (um por cento) com a descoberta do painel contendo duas placas de selênio. Assim, foram construídas as primeiras células solares com dispositivos apoiados igualmente em selênio, de início usando um filme fino de ouro e depois foi postado selênio ao seu redor, entre duas camadas finas de ouro e outro metal na primeira célula de área grande, com a utilização de duas placas de selênio para criar uma corrente elétrica a partir do fenômeno fotovoltaico.

Importa frisar que não eram apenas as características fotovoltaicas do selênio que empolgavam naquela época, mas sim a sua fotocondutividade, uma vez que a corrente produzida era proporcional à radiação incidente e dependente do comprimento de onda emitida, tornando-o tão atrativo como medir a intensidade da luz em fotografia.

Posteriormente, surgiram os primeiros experimentos com o silício, onde foi possível obter, ainda, maior índice de eficiência, razão pela qual hoje em dia este é o material mais usado.

O questionamento que surge diz respeito ao motivo pelo qual o minério silício é tão proveitoso na conversão de energia. Isto ocorre justamente porque o silício é um elemento químico (de número atômico 14) contendo várias características do carbono, se encontrando no terceiro período da família do carbono. Ele é um sólido duro, com coloração cinza metálico. Seu nome vem do termo “pedra pura” e sua estrutura cristalina se assemelha ao do diamante, que é fundido por ligações entre carbonos.

Some-se a isso o fato de o Silício ser um dos elementos mais abundantes no nosso planeta, apesar de nunca ser encontrado de forma isolada e sempre estar combinado a outro elemento. O encontramos em areias, pedras, argilas e solos, e, quando está combinado com o oxigênio é chamado sílica, com uma fórmula química conhecida como Dióxido de Silício – SiO_2 , possuindo muitas propriedades como alta resistência a grandes temperaturas, flexibilidade, resistência a ácidos e bactérias e sobretudo é um semicondutor, sendo esta a sua principal característica.

Entre as várias propriedades peculiares dos semicondutores verifica-se que a condutividade desses materiais aumenta com a temperatura. Ao contrario dos condutores, que possui elétrons livres sempre, para conduzir eletricidade, bastando

somente um campo elétrico. O semicondutor não tem elétrons disponíveis para condução. Para excitar elétrons é preciso alguma energia extra, como térmica ou solar. Essa particular propriedade é proporcionada pelo movimento térmico dos elétrons da banda de valência (camada carregada com elétrons mais externa do material) para a banda de condução. A energia absorvida por esses materiais semicondutores quebra as ligações químicas entre as moléculas presentes em suas estruturas e, com isso, cargas elétricas podem ser utilizadas para a realização de trabalho (ZILLES ET AL, 2012).

2.2 SEMICONDUCTORES

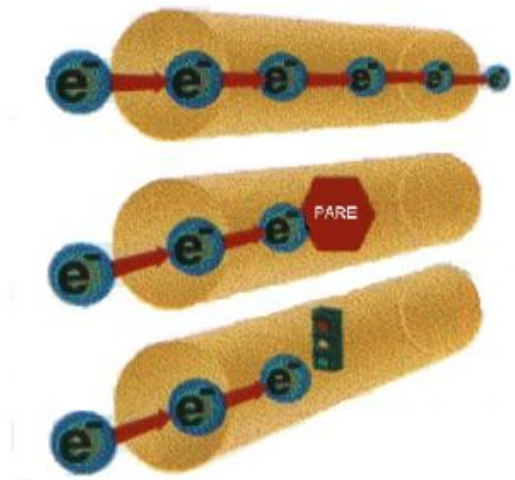
Alguns materiais apresentam propriedades de condução elétrica intermediárias entre aquelas inerentes aos isolantes e aos condutores. Tais materiais são denominados de semicondutores. Os materiais semicondutores mais simples são constituídos de átomos de um único elemento químico com quatro elétrons na camada de valência, ou seja átomos tetravalentes (Wendling, 2011).

Os semicondutores que são usados nos sistemas de transformação fotovoltaica são formados de elementos capazes de absorver a energia provinda da radiação solar e transferir uma parte dessa absorção para os elétrons, produzindo pares de portadores de carga N (negativa) e P (positiva ou lacunas) (CRESESB, 2017).

Entre os principais materiais semicondutores encontrados na indústria de dispositivos de conversão fotovoltaica podemos citar o silício monocristalino, policristalino e amorfo, arseneto de gálio, disseleneto de cobre e índio, e o telureto de cádmio (PINTO, 2014).

Na figura 2.1 é possível observar que ocorre uma condução de elétrons no seguimento superior do material, o que o caracteriza como um metal condutor de elétrons. No entanto, na segunda ilustração nota-se que há um impedimento da passagem de elétrons, ou seja, um isolante. Já a última imagem caracteriza-se pela passagem ou não de elétrons, motivo pelo qual podemos chamar esse elemento de semicondutor. Deste modo, podemos concluir que um semicondutor permite a passagem de corrente elétrica em certos momentos.

Figura 2.1 Comparação entre materiais semicondutores.



Fonte: Schiefler Jr (2014).

Com efeito, uma descrição rigorosa e plausível do fenômeno fotovoltaico somente foi possível a partir do desenvolvimento dos estudos da Mecânica Quântica. As contribuições do alemão Albert Einstein através de sua Teoria da Relatividade Especial (1905) possibilitaram que a teoria quântica de Planck, em que partículas e campos eletromagnéticos oscilantes à frequência ν podem mudar de energia somente por múltiplos inteiros da energia quântica $h\nu$, pudesse mostrar que ao ir de um estado de energia $nh\nu$ para outro $(n - 1)h\nu$, a fonte deveria emitir uma porção de energia eletromagnética da forma

$$E = h\nu , \quad (1)$$

em que ν é igual a c/λ , e assim:

$$E = \frac{hc}{\lambda} , \quad (2)$$

onde h é a constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$), c é a velocidade da luz ($c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$) e λ é o comprimento de onda do fóton em metros. Levando em consideração que as energias em nível atômico são tipicamente expressas em elétron-Volt ($1\text{eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$) e o comprimento de onda expresso em micrômetro, podemos escrever o produto $h \cdot c$ em unidades tal que, se λ é expresso em μm , então E deverá ser expresso em eV . Levando isso em consideração, a expressão de conversão terá a forma:

$$E(\text{eV}) = \frac{1,24}{\lambda} . \quad (3)$$

Em outras palavras, a energia carregada por um fóton apresenta uma dependência sobre as características espectrais da fonte que deu origem a ela, variando

inversamente ao comprimento de onda da emissão eletromagnética (ZILLES et al, 2012).

Deste modo, tem-se nos semicondutores elementos capazes de absorver essa energia e transferir parte dela para os elétrons, proporcionando pares de elétrons e lacuna. Na indústria, os elementos mais encontrados desses materiais são o silício (Si) monocristalino, policristalino e amorfo; arseneto de gálio (GaAs); disseleneto de cobre e índio ($CuInSe_2$); disseleneto de cobre, gálio e índio ($CuInGaSe_2$), e telureto de cádmio (CdTe) (ZILLES et al, 2012).

2.3 DOPAGEM

O processo de dopagem é aplicado aos semicondutores, sendo uma prática que consiste na substituição dos átomos do elemento formador do retículo por átomos de aproximadamente mesmo tamanho. No caso do Silício ou do Germânio, é comum dopá-los com elementos da família 13 ou 15, como por exemplo, a adição de uma pequena quantidade de fósforo e de boro a fim de obterem-se semicondutores do tipo p e n.

Frise-se que na dopagem a estrutura do cristal não tem alterações. De forma objetiva, o processo de dopagem pode ser descrito como (ZILLES, 2012, p.15):

A dopagem eletrônica, ou simplesmente dopagem, é o processo de adição de impurezas químicas (usualmente boro ou fósforo) em um elemento químico semicondutor puro (germânio ou silício, notadamente este último), com a finalidade de dotá-lo de propriedades de semicondução. A adição de boro, elemento trivalente, provoca o aparecimento de cargas positivas (ou “lacunas”), enquanto que a adição de fósforo, elemento pentavalente, provoca o aparecimento de cargas negativas (elétrons livres).

A dopagem, portanto, é basicamente um processo de adição de impurezas sobre os lados de um material semicondutor, com o objetivo de formar um campo elétrico externo capaz de capturar os elétrons que saltam da camada de valência, para assim se obter uma corrente fotovoltaica. Os semicondutores que passam pelo processo de dopagem possuem, aproximadamente, mil vezes mais impurezas do que os semicondutores intrínsecos.

É observado que materiais como o carbono, o silício e o germânio possuem em sua estrutura quatro elétrons em sua órbita mais externa, de tal que isso permite a

formação de bons cristais, de forma que as ligações covalentes com átomos vizinhos criam um reticulado.

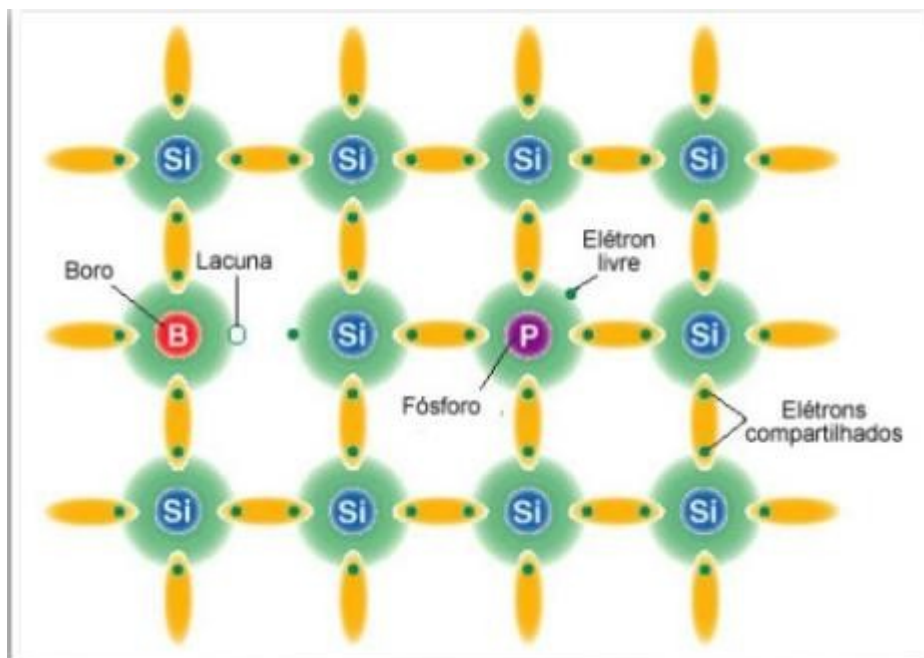
Em geral, os metais que possuem elétrons livres capazes de excitar facilmente os átomos são bons condutores de eletricidade. Por outro lado, os semicondutores formam uma categoria de materiais que conduzem menos eletricidade do que outros. Um cristal de silício, por exemplo, é um material que possui uma baixa condutividade, ou seja, pouca eletricidade passa por ele.

Acontecem ligações covalentes entre quatro elétrons e um deles fica livre, ou seja, é o chamado elétron livre, que ganha movimento e gera corrente elétrica. Daí provém carga negativa existente.

Quando são adicionados ao silício criam lacunas, que conduzem corrente e a ausência de um elétron cria uma carga positiva.

Na figura 2.2 é representado o que ocorre com um material ao ser adicionado impurezas na forma de Boro (B) e Fósforo (P), possibilitando a formação de um campo elétrico capaz de capturar os elétrons da camada de valência. Essas impurezas, por sua vez, podem ser classificadas em dois tipos, denominadas por tipo n e tipo p.

Figura 2.2 Dopagem de semicondutores.



Fonte: Samara Brito (2014).

Tipo n – Na dopagem denominada tipo n ocorre a adição de impurezas relacionadas ao depósito de fósforo ou o arsênico em pequenas quantidades sobre uma

das superfícies do semicondutor. Particularmente, o fósforo e o arsênico possuem cada um cinco elétrons externos, de forma que ficam fora de posição quando entram no reticulado de silício. O quinto elétron ganha a liberdade, pois não terá a quem se ligar. Por outro lado, é esperado que uma pequena parte das impurezas fosse necessária para criar elétrons livres e que sejam suficientes para permitir uma corrente elétrica sobre o silício.

Tipo p – Neste tipo de dopagem adicionam-se impurezas como boro ou o gálio, que possuem apenas três elétrons externos cada. Quando misturados no reticulado de silício, formam lacunas, criando um efeito de uma carga positiva. Essas lacunas podem conduzir corrente elétrica, ou seja, esse tipo de dopagem é feito também para conduzir eletricidade.

De acordo com Zilles et al (2012, p.16), quando os feixes de luz emitidos pelo Sol atingem o semicondutor:

Quando o semicondutor é atingido pela luz do Sol, esse estado de equilíbrio é quebrado. Quando um elétron da banda de valência é atingido por um fóton, ele absorve a energia deste, se essa energia for suficiente para libertá-lo de sua ligação química, ele passa para a banda de condução, criando um par elétron-lacuna. O campo elétrico citado anteriormente atrai o elétron para a região n ao mesmo tempo que a lacuna é atraída para a região p. Com a incidência de mais fótons, mais pares elétron-lacuna são formados e separados pelo campo, ocorrendo, assim, um desequilíbrio nas correntes da junção decorrente do acúmulo de portadores de carga em cada lado da junção (elétrons na região n e lacunas na região p).

Desta maneira, o procedimento da transformação de energia ocorre quando a luz do Sol atinge as células fotovoltaicas construídas a partir do silício, sendo possível interligar dois cabos em cada polo do terminal condutoras da célula para efetivar a conversão fotovoltaica.

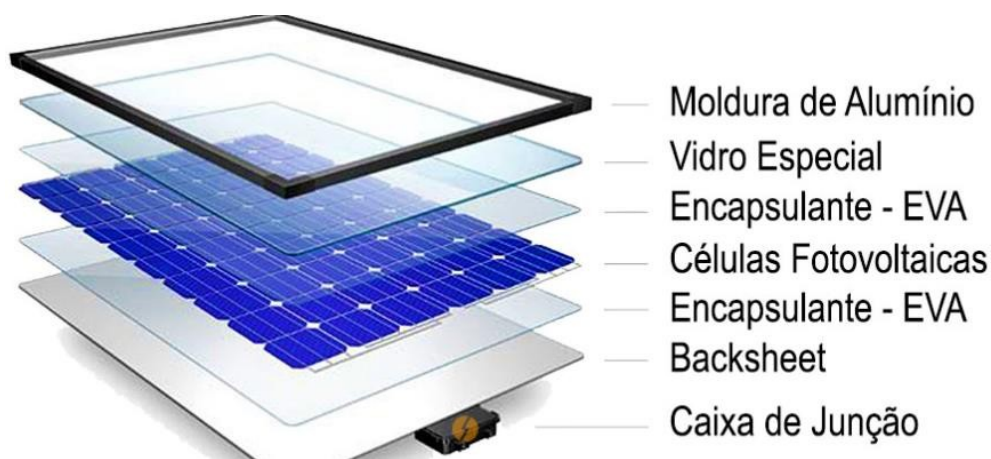
2.4 COMPOSIÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Convém asseverar que os painéis solares não são formados apenas do aglomerado das células, uma vez que exigem, igualmente, uma grande quantidade de outros compostos que serão mais bem elucidados a seguir.

De acordo com a equipe do Portal Polar (2019) muitos processos individuais ligados e contínuos colocam as células fotovoltaicas em um painel fotovoltaico. Os painéis fotovoltaicos devem ser fabricados utilizando a melhor tecnologia para que possam durar por décadas conforme foram projetados.

A figura 2.3 retrata cada componente presente no painel solar. É possível afirmar que a parte principal do painel solar é composta pelas células fotovoltaicas, todavia, cada componente presente no painel desempenha um importante papel no módulo fotovoltaico.

Figura 2.3: Componentes do painel solar.



Fonte: Portal Solar (2019).

Moldura de alumínio – Esse componente rodeia a parte posterior do painel. A moldura de alumínio é colocada para fornecer uma maior segurança aos materiais presentes no interior e garantir integridade nas mais adversas situações, protegendo contra impactos nas instalações.

Vidro especial – É usado para refletir menos e que a luz solar possa passar o máximo por ele e garantir melhor eficiência de geração a partir da conversão.

Encapsulante EVA – Atua aumentando a vida útil oriunda das radiações UV, temperatura muito alta e umidade.

Células fotovoltaicas – Item que desempenha o maior papel do módulo fotovoltaico, por ser responsável pela geração de energia elétrica.

Backsheet – É um fino papel branco que é usado na parte posterior do módulo e tem o papel de proteger os componentes internos da célula fotovoltaica e agir como um isolante térmico.

Caixa de junção – e por fim, a caixa de junção é responsável pela junção ou conexão dos módulos com o resto do sistema do gerador fotovoltaico, contendo diodos de *bypass* que vão garantir a segurança e o bom funcionamento do painel solar. Possuindo também cabos e conectores especiais para conectar os painéis solares (Portal Solar, 2019).

2.4.1 Interconexão das células fotovoltaicas

A interconexão das células é uma das etapas mais importantes na fabricação de painéis fotovoltaicos. Nesta etapa as células fotovoltaicas são interconectadas por meio de fios que conduzem a energia gerada, formando o que é chamado de *strings*. O lado inferior da célula é conectado ao lado superior da célula seguinte até formar uma ligação em série de células com o número desejado, como por exemplo, painéis de 150 Watts ou de 300, no nosso caso um de 1 Watt.

Observamos na figura 2.4 a interconexão de células durante o procedimento de interconexão utilizando uma máquina de solda especial para soldar as conexões com um contato mínimo possível. Assim, quando analisamos uma célula no painel fotovoltaico visualizamos linhas grossas e linhas finas; essas linhas tem o nome de *Bussbar*, sendo por meio dessas a realização da interconexão das células.

Figura 2.4: Interconexão das células.



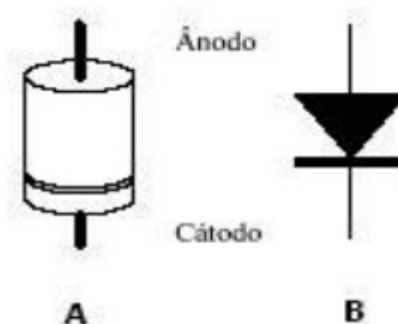
Fonte: Portal Solar (2019).

2.4.2 Diodos

O diodo é um dos componentes mais importantes na eletrônica, caracterizado por ser um semicondutor e formado pela junção de elementos condutores a partir do qual podemos convertê-los em isolantes. No entanto, é necessário passar pelo processo de dopagem e assim converter em semicondutores, uma vez que a convergência desse material confere ao diodo a capacidade de conduzir ou não corrente elétrica.

De um modo geral, o diodo é um dispositivo que quando em polarização direta permite a passagem de corrente e em polarização inversa impede a passagem de corrente. A Figura 2.5 mostra a representação de um diodo.

Figura 2.5: Representação de um Diodo.



Fonte: Schiefler Jr.

Diante disso podemos afirmar que os diodos são dispositivos muito importantes nos módulos fotovoltaicos, tendo em vista que atuam positivamente nos painéis solares de várias formas. Ademais, o diodo de bloqueio compensa as células que não estão recebendo a luz do Sol, permitindo que a perda de tensão de uma célula sobre ausência da luz possa ser compartilhada entre as outras, ou seja, que o painel funcione normalmente nessas ocasiões.

Outra importante função dos diodos é evitar que as energias das respectivas baterias venham voltar para o painel solar e danificá-lo, pois ele age bloqueando a corrente que volta, permitindo apenas a saída de corrente.

Na figura 2.6 é mostrado o sentido do diodo. Caso o lado positivo de uma fonte de energia se encontre interligado ao positivo do diodo, ou seja, o ânodo, e o lado negativo estiver interligado ao negativo do diodo, nesse caso o cátodo, o diodo permitiria a passagem de corrente. Porém se o diodo se encontra invertido, a corrente é bloqueada.

Figura 2.6: Sentidos dos Diodos.



Fonte: Mundo da elétrica.

2.5 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS E SEUS DIMENSIONAMENTOS

Em testes realizados pela STC (*Standard Test Conditions*) as células fotovoltaicas apresentam alguns limites como, por exemplo, a potência máxima de 1.000 W/m^2 de irradiação emitida pelo Sol a uma temperatura de 25°C , com corrente da ordem de 32 mA/cm^2 , numa voltagem entre $0,46\text{V}$ e $0,48\text{V}$.

O que acontece na prática quando agrupamos as células fotovoltaicas em série é que o sistema vai gerar mais tensão; já quando agrupamos em paralelo o nosso sistema vai gerar uma maior corrente. Deste modo, o sistema deve ser organizado de uma forma que possa suprir as necessidades para alimentá-lo.

Não obstante, no aspecto abordado no presente trabalho não será preciso agrupamentos de mais de uma célula, pois lidaremos com circuitos de baixa voltagem.

No momento em que conectamos as células em série, o terminal positivo de uma célula é interligado com o terminal negativo da célula seguinte, e assim por diante. Isso vale para painéis constituídos de mesmo material, por exemplo, silício monocristalino, submetidos às mesmas condições padrão de teste. Nesse caso, a corrente permanece a mesma e as tensões nessa conexão são somadas (CRESESB, 2014):

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (4)$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (5)$$

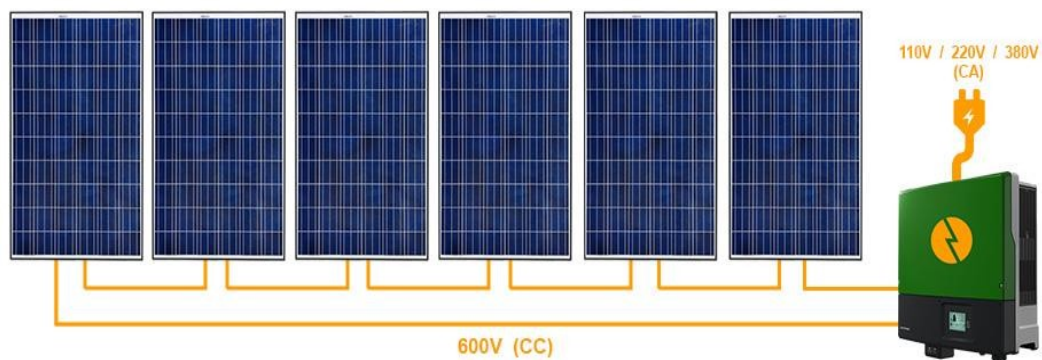
Já em paralelo, os terminais positivos dos dispositivos são conectados entre si como também os terminais negativos. Dessa forma, as correntes são somadas e a tensão permanece inalterada:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (6)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (7)$$

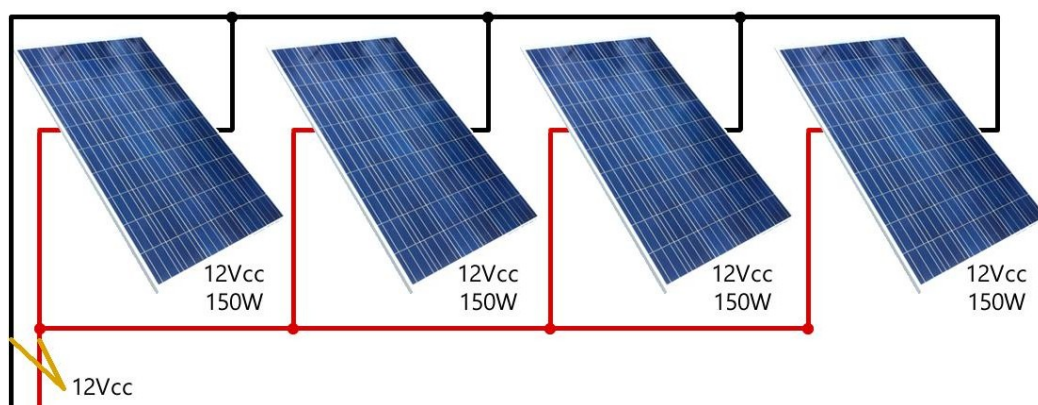
A figura 2.7 ilustra como é feita as ligações em série e a figura 2.8 ilustra como é feita as ligações em paralelo.

Figura 2.7 Painéis fotovoltaicos em série.



Fonte: Portal solar (2013).

Figura 2.8 Painéis fotovoltaicos em paralelo.



Fonte: Eduardo Aquino (2016).

Normalmente as células fotovoltaicas (figura 2.9) são fabricadas com o dimensionamento de $50\text{ cm}^2 \times 150\text{ cm}^2$ e de espessura entre 0,2 mm e 0,3mm. Contudo, esse número não deve ser padronizado, pois o seu dimensionamento é totalmente proporcional a sua eficiência, de forma que quanto maior o painel solar mais energia será convertida. De forma geral, podemos afirmar que painéis usados em residências ou uso comercial geralmente são painéis entre 150W a 300W. Um painel com essa configuração, portanto, terá uma dimensão de aproximadamente 195 cm x 99 cm, com espessura de 3,5 cm.

Figura 2.9 Painéis solares em tamanhos diversos.



Fonte: Portal energia (2012).

2.6 EFICIÊNCIA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Segundo Zilles et al (2012), as células fotovoltaicas não tem capacidade de transformar toda a energia incidente em eletricidade, isto por causa de algumas limitações encontradas nas tecnologias e na produção delas.

Importante ressaltar o seguinte parâmetro, além da V_{oc} e da I_{sc} , é o fator de forma FF . O fator de forma também determina a máxima potência. Esse parâmetro depende também das características construtivas da célula. Para células monocristalinas o fator de forma possui valores de 0,6 a 0,85 e de 0,5 a 0,7 para as de silício amorfo, podendo ser definido pela equação

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} ; \quad (8)$$

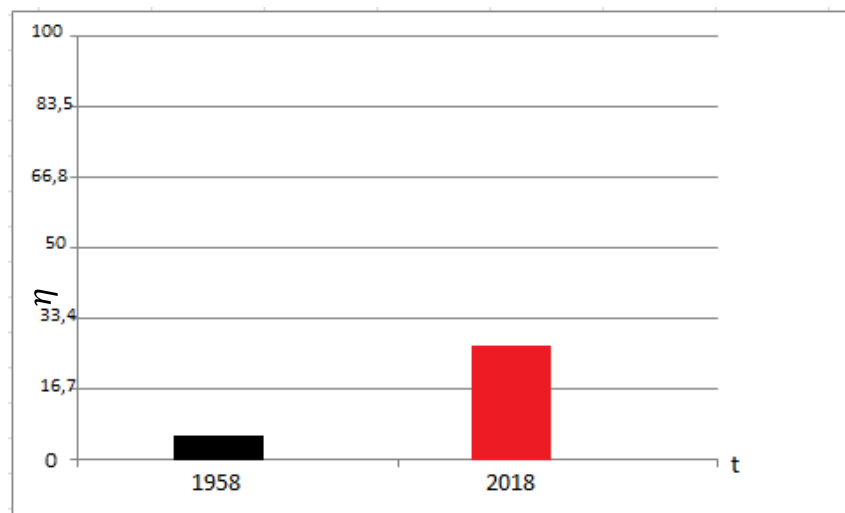
ou seja, o fator de forma é a razão entre a máxima potência pelo produto da corrente de curto-circuito e a tensão de circuito aberto. (ZILLES et al, 2012, p.25).

A eficiência é dada pela razão

$$\eta = \frac{P_{Gerada}}{P_{Incidente}} = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{P_{Incidente}} . \quad (9)$$

Diante de todos os argumentos já explanados, podemos dizer que o silício é o elemento mais eficiente como também o mais usado em painéis fotovoltaicos. Os painéis solares mais eficientes no mercado têm uma taxa de eficiência superior a 22,2%, sendo que a maioria dos painéis tem uma eficiência entre 15% e 17% (Portal Energia). A figura 2.10 abaixo mostra um diagrama com a evolução da eficiência da energia solar, descrevendo-a em função do tempo e retratada pelo ano de destaque.

Figura 2.10 Eficiência do aproveitamento da luz do sol, em comparação com o avanço tecnológico, ou seja, com o passar dos anos.



Fonte: Adaptado pelo pesquisador responsável.

Observando o gráfico 2.10 é possível notar que na década de 50 a eficiência na conversão da luz solar em eletricidade era de apenas 4%, o que representa menos de 1/4 da atual eficiência dos módulos fotovoltaicos (Dusol Engenharia, 2011). É notório que com o passar do tempo a eficiência dos painéis fotovoltaicos terá um aumento considerável e que com mais estudos e pesquisas no futuro próximo obteremos a eficiência máxima possível.

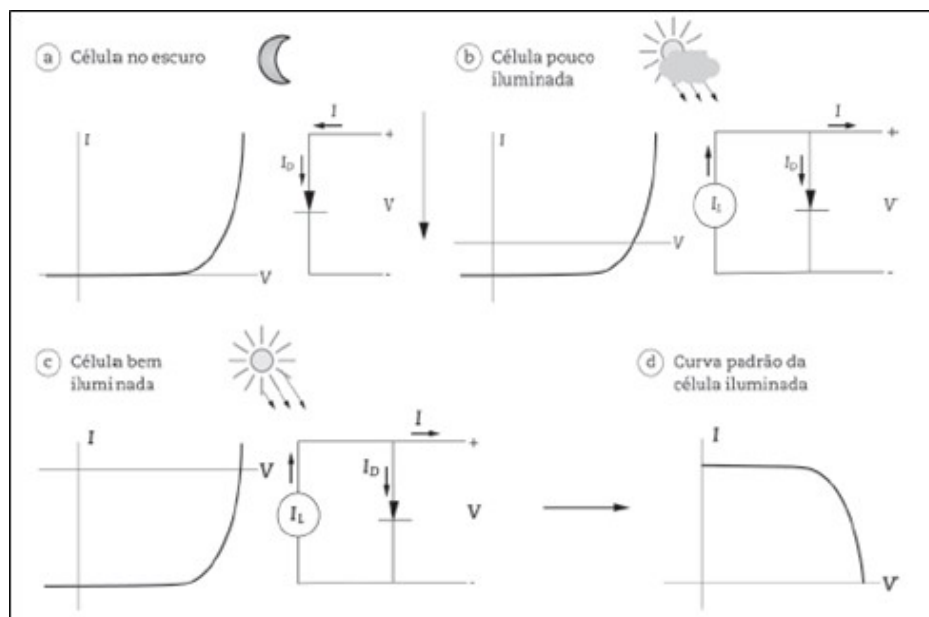
2.6.1 Ausência do Sol

A geração de energia solar pode ser anulada, por exemplo, em razão da ausência da própria luz do Sol, como ocorre durante o período noturno. Por isso, existem situações específicas onde se é recomendado o uso do painel solar para carregar uma bateria, de modo que esta forneça energia para o dispositivo continuar realizando seu trabalho durante o período de ausência da fotoconversão. Portanto, durante a noite o

dispositivo estará usando a energia provinda da bateria que foi carregada durante o dia e assim sucessivamente.

Sabendo que a eficiência da geração de energia elétrica por placas solares diminui ou aumenta, os gráficos da figura 2.11 mostram o comportamento da corrente elétrica em função da diferença de potencial em algumas situações diárias de exposição.

Figura 2.11 Célula de silício sobre presença e ausência da luz do Sol.



Fonte: Zilles et al (2012).

A figura 2.11 mostra as curvas I-V e os circuitos equivalentes nas quais o autor Zilles et al (2012) afirma que:

[...]. No escuro, a célula tem as mesmas características elétricas de um diodo não polarizado, e uma pequena corrente flui pela junção quando a célula está conectada a uma carga (p.ex., uma bateria). À medida que a célula é iluminada, a sua curva se desloca para o quarto quadrante. Quanto maior a intensidade da radiação solar, maior o deslocamento da curva. Convencionalmente, a curva da célula iluminada é espelhada no eixo [...].

2.7 DISPOSITIVOS DE BAIXA TENSÃO

Com o crescimento tecnológico as correntes de energia digitais estão cada vez menores. Há um tempo 5V eram suficientes para fornecer energia para qualquer semicondutor. Nos dias atuais 3,2V já vem sendo o bastante, se tornando cada vez mais comum usar correntes de 1,8V ou até 1,2V.

Rememorando os conceitos, é sabido que os semicondutores trabalham com valores como zeros e uns, e para esses valores foram assumidos como padrão de 0V (ou GND) e VCC, ou seja, é a diferença de potencial que você está aplicando naquele ponto, respectivamente.

No entanto, são muitas possibilidades dentre esses valores e é preciso saber como o circuito se comporta em uma situação intermediária, seja ela em baixa ou em alta tensão. Quando se trata de tensões de entrada, adota-se V_{IH} . Já quando se trata de baixa tensões consideramos 1. Da mesma forma, entendemos V_{IL} como sendo a maior tensão ainda considerando o valor 0.

No caso específico aqui analisado é necessário saber os valores de alimentação diferentes e se irão alterar os valores de limites de entrada. Tendo em vista que nosso dispositivo será alimentado por uma placa de baixa tensão, temos que saber o valor mínimo e máximo de tensão que nosso dispositivo pode suportar.

O dispositivo eletrônico CMOS autoriza uma variação de alimentação consideravelmente alta, normalmente variando entre 3V e 15V. Sendo assim, levando em conta os limites de 70% de VCC como mínimo para nível alto e 30% como máximo para nível baixo, a tabela 2.1 mostra os valores que podemos considerar como válidos.

Tabela 2.1 Valores máximos e mínimos.

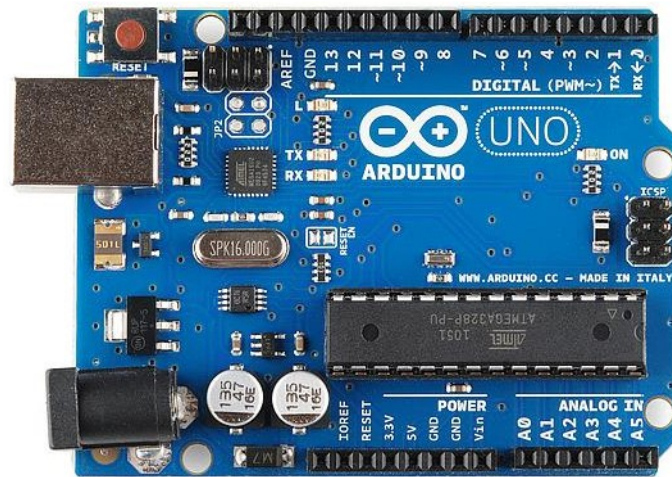
CMOS	V_{IL}	V_{IH}
VCC = 3V	0,9V	2,1V
VCC = 5V	1,5V	3,5V
VCC = 9V	2,7V	6,3V
VCC = 12V	3,6V	8,4V
VCC = 15V	4,5V	10,5V

Fonte: *Selecting the Right Level Translation Solution*.

Como são vários os dispositivos de baixa tensão, iremos levar em consideração os dispositivos de 5V. Atualmente existem muitos dispositivos eletrônicos que são alimentados à baixa corrente e usados para fins singulares, como por exemplo, o Arduino de irrigações, medidores de tráficos, entre outros. Já instalados e em funcionamento, esses dispositivos são “ignorados” e acabamos desconsiderando a diferença que faria se analisássemos a forma de alimentação desses dispositivos.

O Arduino mostrado na figura 2.12 é um exemplo de dispositivo eficiente sobre alimentação de baixa corrente elétrica e seu funcionamento é diversificado e indispensável na eletrônica em geral. A grande maioria desses dispositivos é alimentada por meio de fontes ou baterias (pilhas) sobre efeito de corrente contínua; além desses materiais poluírem o ambiente, eles requerem manutenção constante.

Figura 2.12 Ilustração de um Arduino.



Fonte: Spark Fun (2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

MOTAGEM E APLICAÇÃO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

3.1 CONSTRUÇÃO DO PAINEL SOLAR

Para fabricação de um protótipo de módulo fotovoltaico capaz de fornecer energia para um Arduino de baixa corrente, são necessários, os seguintes materiais:

- Célula fotovoltaica; porém para obtermos a célula será preciso uma: Fatia fina do cristal silício; seu manuseio é necessário ter cuidado, pois é um material muito frágil. E esse material vai passar pelo processo descrito no tópico 2.3, a dopagem, em seguida passa pelo processo mencionado no tópico 2.4.1;
- Moldura de Alumínio;
- Vidro especial;
- EVA;
- Backsheet;
- Caixa de junção, para acoplar os itens;
- Bateria 3V e 1A.;
- Protoboard: utilizada para fazer a montagem do circuito elétrico;
- 1 diodo 1N4148;
- Dispositivo de baixa tensão;
- Jumpers: pequenos fios condutores utilizados para conectar dois pontos no circuito elétrico;
- Solda.

3.2 MONTAGEM DO MÓDULO

De início devemos saber os dimensionamentos do nosso painel. Ele será mensurado a partir do tamanho da célula solar em uso, no nosso caso o dimensionamento será de 107 x 61 mm; será o bastante para carregar a bateria do circuito proposto. Feito isso, parte-se para a etapa de montagem.

Inicialmente usa-se a moldura de alumínio envolvendo a parte posterior do painel, que é uma forma de segurança para proteger os demais componentes. A moldura

será mensurada de uma forma que a célula se encaixe perfeitamente. Também é preciso ter cuidado com os lados altos demais, pois eles podem fazer sombra nas células quando o Sol estiver a um ângulo agudo. Em seguida, a célula fotovoltaica é encaixada na moldura.

O próximo componente é uma fina camada de vidro presente na parte frontal do painel aonde ele vem a ajudar na captação de radiação solar e proteger as células. Agora se pode virar o painel para os demais componentes e adicionar um importante componente, o EVA; é um fino papel cuja função é a proteção contra altas temperaturas e umidades. Para isolar a parte de trás do painel usa-se o *backsheet*, que é um fino plástico branco.

Por fim, a caixa de junção, pode-se usar solda para interligar a célula fotovoltaica a caixa de junção, que para gruda-lo, podemos usar fita dupla face. Esse dispositivo é bastante importante, pois é onde se encontra a parte elétrica do painel. Nele é adicionado o diodo, que evita que a energia volte ao painel e o danifique. Na caixa de junção também se encontra as saídas negativas e positivas do painel.

Por fim, podemos calcular a eficiência do protótipo, 5V e 200mA, através da expressão

$$\eta = \frac{P_{Gerada}}{P_{Incidente}} = \frac{1}{0,107 \times 0,061} \quad (10)$$

que fornece

$$\eta = 15,32\% \quad .$$

Também podemos calcular o tempo que leva para o painel solar segundo o site qgairsoft, usamos a seguinte formula para carregar totalmente a bateria.

$$T \text{ de Carga} = \frac{\text{Capa. Bateria}}{\text{Amp. gerada}} \times 1,2 \quad (11)$$

Onde *T de carga* é o tempo que o painel leva para carregar a bateria;

Capa. Bateria é a capacidade da bateria;

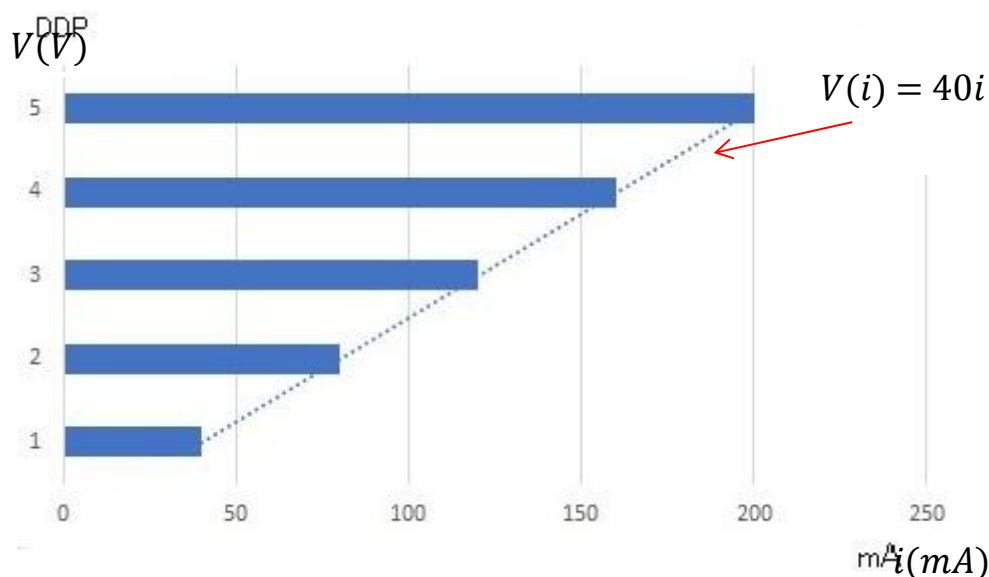
Amp. Gerada é a amperagem gerada pelo circuito.

3.3 PLANO TÉCNICO DE UM CIRCUITO COM ALIMENTAÇÃO FOTOVOLTAICA

Este trabalho é realizado levando em consideração o conhecimento e a aplicação da energia fotovoltaica como uma fonte de grande eficácia na geração de energia elétrica, onde cada vez mais estamos usufruindo dessa fonte renovável. Dessa forma, a seguir discutiremos acerca dos testes realizados e observações obtidas através de materiais disponíveis sobre a matéria prima em estudo, contemplando assim o objetivo geral proposto nesse estudo.

No diagrama da figura 3.1 a seguir é mostrado um plano com a amperagem gerada de acordo com a ddp fornecida em situações arbitrárias, como por exemplo, em baixa iluminação, onde dessa forma o painel não irá realizar trabalhar no seu máximo desempenho.

Figura 3.1 Tensão (V) × Corrente elétrica (i).



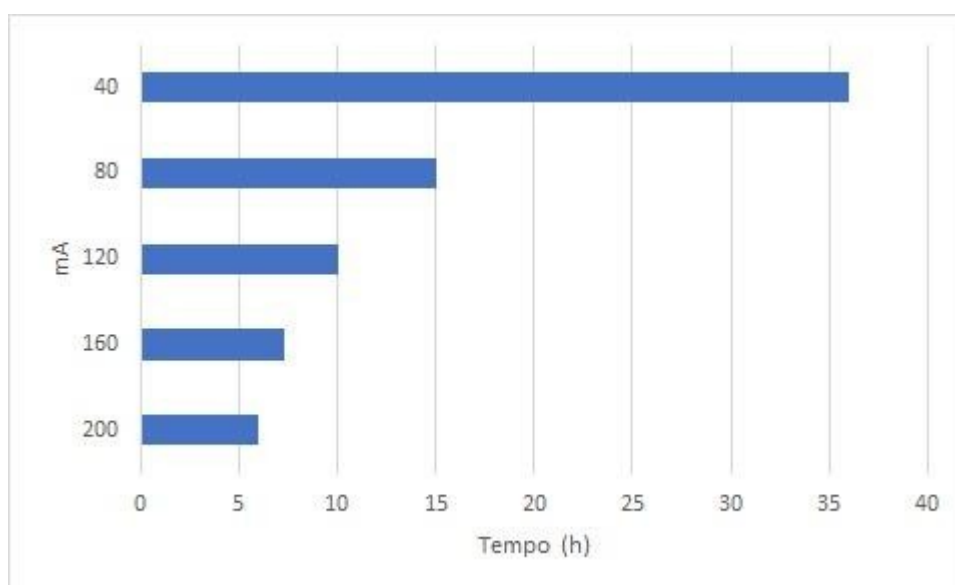
Fonte: Adaptado pelo pesquisador responsável.

Conforme Georg Simon Ohm constatou, a corrente elétrica é sempre diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada no dispositivo. Segundo ele, o gráfico que obteríamos com relação a corrente pela tensão teria caráter linear, de acordo com o resultado apresentado na figura 3.1. Onde $R = 40\Omega$ representa a Resistência elétrica do material, como esperado (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, p.139, 2012).

Com os dados do gráfico da figura 3.1, que diz respeito a corrente gerada em diferentes tensões, pôde-se calcular em quanto tempo a bateria do circuito irá carregar em outras situações climáticas.

Analisando o diagrama da figura 3.2 teremos o tempo que o painel fotovoltaico leva para carregar a bateria do sistema, que por sua vez, é de 1000 miliampère. A análise realizada mostra situações de tempo teste em diferentes intervalos aonde o módulo solar possa vir a enfrentar. Observe que no seu máximo desempenho o painel trabalha carregará a bateria em 6 horas.

Figura 3.2 Tempo de carregamento de uma bateria.



Fonte: Adaptado pelo pesquisador responsável.

É de conhecimento técnico que a contrapartida do uso da energia solar está relacionada à baixa iluminação e é nesse ponto que o diagrama da figura 3.2 mostra, mesmo para uma baixa iluminação, que o painel solar continua captando energia, porém com baixo desempenho. Dessa forma, o painel solar pode levar mais tempo para recarregar a bateria.

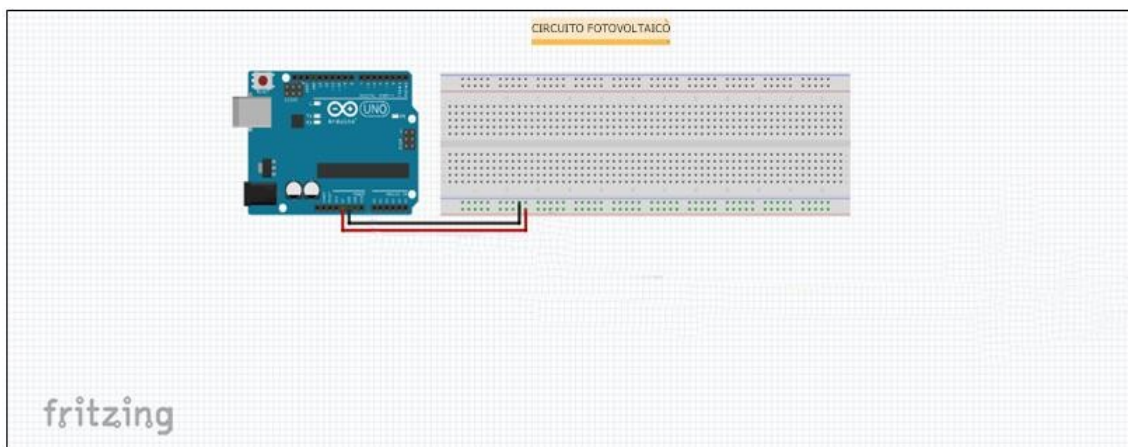
3.4 CONSTRUÇÃO E DIAGRAMA DO CIRCUITO

Para melhor compreensão do sistema de baixa voltagem em estudo, será apresentado o diagrama da construção de um circuito alimentado por uma célula fotovoltaica.

Para representar o esquema desse circuito fotovoltaico foi usado um software destinado à criação de esquemas e diagramas eletrônicos, conhecido como *Fritzing* (FRITZING, 2019).

De acordo com a figura 3.3, conectamos os cabos preto e o vermelho no arduino, onde é por meio deles que o equipamento vai realizar o seu funcionamento. Em seguida, conecta-se a *protoboard*, onde o cabo preto é considerado negativo e o vermelho o positivo.

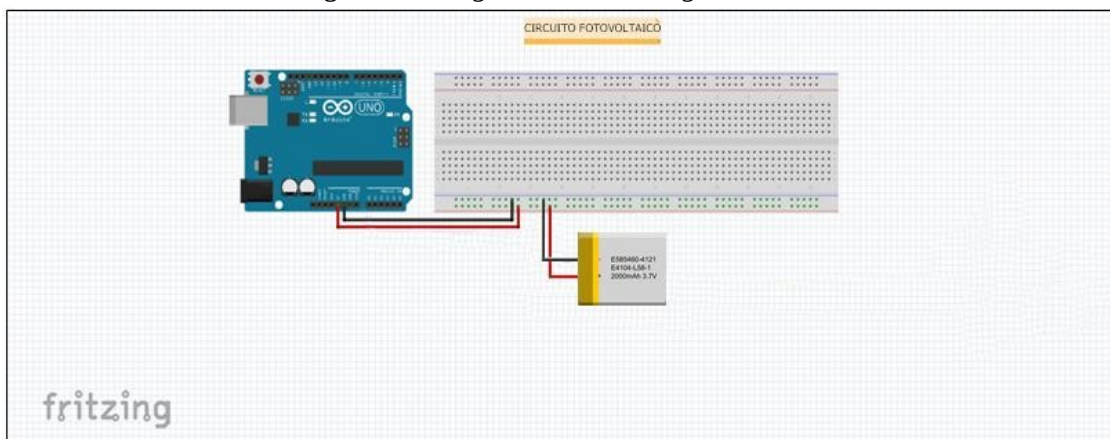
Figura 3.3 Diagrama do circuito ligado a protoboard.



Fonte: Adaptado pelo pesquisador responsável.

Em seguida, acopla-se uma bateria no circuito, de modo que sua função seja a de fornecer energia para o Arduino (figura 3.4); a bateria usada é de acordo com a voltagem que o arduino suporta, no caso 3,7 V.

Figura 3.4: Diagrama do circuito ligado à bateria.

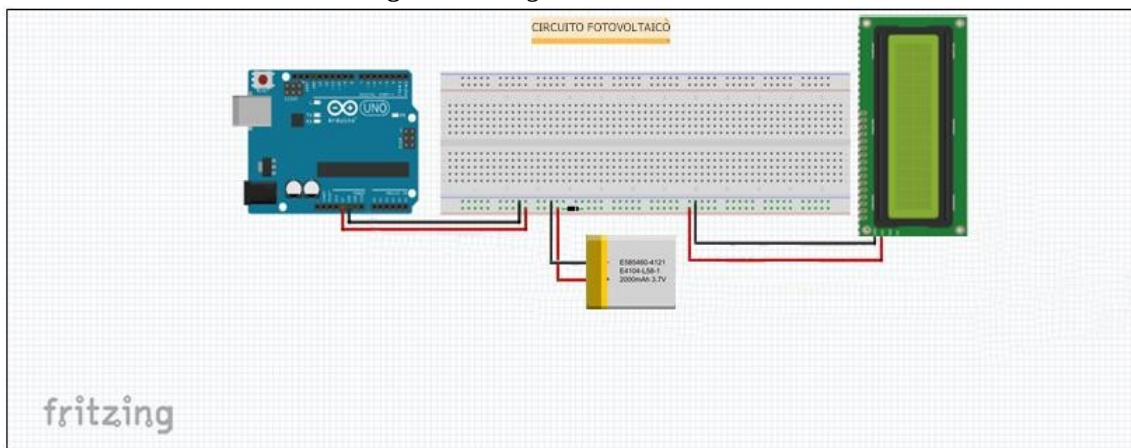


Fonte: Adaptado pelo pesquisador responsável.

Usa-se a bateria para ocasiões em que o painel solar não esteja em funcionamento, como por exemplo, à noite. A bateria também ajuda o dispositivo arduino em situações que o clima não esteja favorecendo o fornecimento de energia solar, como por exemplo, tempo nublado ou chuvas, nessas ocasiões o valor gerado de energia é bem baixo, porém a bateria vai garantir o perfeito funcionamento do dispositivo.

Por fim, é adicionada a célula fotovoltaica e junto dela também foi instalado na *protoboard* um diodo 1N4148, onde a função dele, como já foi comentado, é impedir que a carga armazenada na bateria retornasse ao módulo fotovoltaico. O diagrama final do circuito é apresentado na figura 3.5.

Figura 3.5 Diagrama do circuito final.



Fonte: Adaptado pelo pesquisador responsável.

5. CONCLUSÃO

Diante de todas as apurações aqui abordadas, restou evidenciar o funcionamento dos painéis fotovoltaicos, bem como as diretrizes para o desenvolvimento de um painel solar para alimentação de um dispositivo de baixa tensão.

Desta maneira, em que pesa a impossibilidade de fabricação do modelo, com os estudos realizados também foram vislumbrados novos horizontes, com aprofundamento maior na eletrônica e também em softwares de esquemas e diagramas eletrônicos.

Ademais, podemos notar os benefícios trazidos para a comunidade universitária da UFERSA, sobretudo diante da possibilidade de construção de um painel solar de baixa voltagem para o aperfeiçoamento de trabalhos já desenvolvidos nesta universidade, ou a longo prazo em novas pesquisas.

Além disso, este trabalho incentiva outros discentes que desejam ingressar na área da engenharia elétrica, ou computação, pois é um projeto interdisciplinar, que engloba conhecimentos que provém tanto de estudos para sua realização como também conhecimentos adquiridos durante as aulas assistidas no curso e até mesmo pode ser o caso de terem afeição com o assunto abordado.

REFERÊNCIAS

CRESESB - Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.

Dusol Engenharia et al. **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <<https://www.dusolengenharia.com.br/energia-solar-conheca-2/>> . Acesso em 1 nov. 2019.

ECYCLE et al. **O que é Energia Renovável**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/5031-energia-renovavel>> . Acesso em 10 jan. 2020.

Esru Strath et al. **Introduction to Solar Energy**. Disponível em: <<http://www.esru.strath.ac.uk/Courseware/Class-16110/>>. Acesso em 5 nov. 2019.

Fritzing. Disponível em: <<http://fritzing.org/home/>>. Acesso em 26 nov. 2019.

Instituto Superior Técnico et al. **Breve história da energia solar**. Disponível em: <<http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>>. Acesso em 9 nov. 2019.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. 9 ed. Rio de Janeiro : LTC, 2012. v.3.

GASPAR, A. **COMPREENDENDO A Física: Mecânica**. São Paulo: editora ática, 2000.

Mundo da eletrica et al. **O que é diodo semicondutor e como funciona**. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-diodo-semicondutor-e-como-funciona/>>. Acesso em 9 nov. 2019.

Nivaldo T. Schiefler Jr. et al. **Eletrônica Geral I Diodos e transistores**. Joinville. Disponível em: <<https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/f/fd/EletronicaGeralIFSC.pdf>>. Acesso em 15 nov. 2019.

PINTO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. CEPEL – DTE - CRESESB, 2014.

Portal Solar. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar**. Disponível em:
<<https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>.
Acesso em: 21 fev. 2019.

Portal Solar. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em:
<<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em:
21 fev. 2019.

Qgairsoft, et al. **Calculando o tempo de carga da bateria**. Disponível em:
< <http://blog.qgairsoft.com.br/tempo-de-carga-da-bateria/>> Acesso em 10 de Fev. 2020.

Wendling, M. et al. **Semicondutores**. Disponível em:
<<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/1---semicondutores.pdf>> Acesso em 11 fev. 2020.

ZILLES, R. et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo:
Oficina de Textos, 2012.