



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

SÁVIO DE FRANÇA BRILHANTE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO



Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

MONITORAMENTO REMOTO PARA SISTEMAS DE
BATERIAS CARREGADAS POR PAINÉIS SOLARES



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2019

SÁVIO DE FRANÇA BRILHANTE

MONITORAMENTO REMOTO PARA SISTEMAS DE BATERIAS
CARREGADAS POR PAINÉIS SOLARES

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Professor Dr. Edmar Candeia Gurjão
Orientador

Campina Grande
2019

SÁVIO DE FRANÇA BRILHANTE

MONITORAMENTO REMOTO PARA SISTEMAS DE BATERIAS
CARREGADAS POR PAINÉIS SOLARES

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em 12 / 07 / 2019

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Dr. Edmar Candeia Gurjão
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Valdete Dutra e Otoniel Brilhante, por me proporcionarem um ambiente familiar pautado em valores morais e éticos, além de bastante amor e amizade. Sem eles, nada disso seria possível. O apoio dos mesmos foi essencial para que esse trabalho pudesse ser realizado, assim como a conclusão da graduação. Eles são as pessoas mais importantes em minha vida.

Agradeço também ao seio familiar como um todo: irmãos, avós, tios(as) e primos(as). Esses sempre estiveram presentes durante toda minha vida e, sem dúvida, participaram e influenciaram meu processo de amadurecimento para que pudesse atingir meus sonhos.

Agradeço a minha namorada, Marília Arruda, sem dúvida, uma das pessoas que me acompanhou mais de perto durante toda essa trajetória, sempre disponível nos momentos difíceis, ajudando-me a lidar com os problemas, as dificuldades e os desafios. A partir de sua empatia, ela me incentivou a continuar firme e foi essencial para atingir meus objetivos. Sem dúvida, eu a amo.

Agradeço aos meus amigos, seja pelas horas de estudo, assim como pelos momentos de alegrias, afinal sem isso, não seria possível suportar tamanha carga diária ao longo da graduação.

Agradeço ao professor Dr. Edmar Candeia pelo grande suporte durante a elaboração deste trabalho. Além dele, agradeço a todos os profissionais que tive contato durante a minha graduação. Professores e funcionários que me inspiraram a ser melhor na minha vida pessoal e profissional.

Por fim, quero agradecer à todas as pessoas que mesmo não citadas, ajudaram-me de uma forma ou de outra no decorrer deste trabalho e da graduação.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”

Issac Newton.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo a implementação de um mecanismo de monitoramento remoto de um sistema de geração fotovoltaico autônomo. Esses sistemas de geração possuem em sua composição elementos acumuladores de carga. O monitoramento remoto permite ao usuário com acesso a Internet acompanhar o comportamento das grandezas elétricas de qualquer lugar do mundo. A partir de um entendimento melhor do comportamento do sistema, alcançado através do monitoramento, é possível controlar a geração para que essa possua máxima eficiência, aumentando a vida útil dos componentes elétricos. Os sistemas de geração fotovoltaicos são limpos e renováveis, porém a fabricação de seus componentes ainda polui bastante o meio ambiente, então usá-los de maneira eficiente, alongando suas vidas úteis, ajuda a combater a degradação do meio ambiente ao mesmo tempo que atende às crescentes demandas de eletricidade.

Palavras-chave: Monitoramento Remoto. Geração Fotovoltaica. Eficiência Energética.

ABSTRACT

The present term paper has the objective of implementing a remote monitoring mechanism for an autonomous photovoltaic generation system. These generation systems have load accumulating elements in their composition. Remote monitoring allows the user with Internet access to monitor the behavior of electrical characteristics from anywhere in the world. From a better understanding of the behavior of the system, achieved through monitoring, it is possible to control the generation so that it has maximum efficiency, increasing the useful life of the electrical components. Photovoltaic generation systems are clean and renewable, but the manufacture of their components still pollute the environment a lot, so use them efficiently, lengthen their useful lives, help combat environmental degradation while meeting increasing demands for electricity.

Keywords: Remote Monitoring. Photovoltaic Generation. Energy Efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Composição Do Espectro Da Radiação Solar.	17
Figura 2 - Perfil De Irradiação Solar No Planeta Terra Ao Longo Do Dia.....	18
Figura 3 - Célula Fotovoltaica E Seus Componentes.....	20
Figura 4 - Módulo Fotovoltaico E Seus Componentes.	21
Figura 5 - Curva Característica De Corrente E Tensão De Um Módulo Fotovoltaico.	22
Figura 6 - Curva Característica De Potência E Tensão De Um Módulo Fotovoltaico.	22
Figura 7 - Disposição Do Sistema Do Projeto.	29
Figura 8 - Divisor De Tensão.....	30
Figura 9 - Medição De Corrente Elétrica Através De Resistor Shunt.	32
Figura 10 - Sensor De Temperatura LM35.....	33
Figura 11 - Pinos Do Sensor De Temperatura LM35.	33
Figura 12 - Diagrama Elétrico Final Do Sistema De Monitoramento Remoto.	35
Figura 13 - Resultados Da Simulação De Carga Da Bateria Sob Condições Máximas.	38
Figura 14 - Resultados Da Simulação De Carga Da Bateria Sob Condições Máximas.	39
Figura 15 - Carregamento Lento De Bateria Sob Tensão Constante.....	40
Figura 16 - Descarregamento Da Bateria Com Carga De 10Ω	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
eV	Elétron-volt
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
Kcal	Kilocaloria
MHz	Mega-hertz
MW	Megawatts
V	Volt
W	Watts
W/m ²	Watts por metro quadrado
Wh/m ²	Watt-hora por metro quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	15
2.1.1 Energia Solar.....	15
2.1.2 Radiação Solar.....	16
2.1.3 Irradiação Solar e Insolação.....	17
2.1.4 Efeito Fotovoltaico.....	18
2.1.5 Célula e Módulo Fotovoltaicos.....	20
2.2.6 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos.....	22
2.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO.....	23
2.2.1 Sistema de Aquisição de Dados.....	25
2.2.2 Microcontrolador.....	26
3 MÉTODOS	28
3.1 DELIMITAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO.....	28
3.2 CONDICIONAMENTO DE SINAIS.....	30
3.2.1 Tensão.....	30
3.2.2 Corrente Elétrica.....	31
3.2.3 Temperatura.....	32
3.3 PLATAFORMA WEB E PROCESSAMENTO DE DADOS.....	33
3.4 DIAGRAMA ELÉTRICO.....	35
4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS	37
4.1 SIMULAÇÃO.....	37
4.1.1 Carga da Bateria por meio do Módulo Fotovoltaico.....	37
4.1.1 Descarga da Bateria por meio de Carga Resistiva.....	38
4.2 CARGA DA BATERIA.....	40
4.3 DESCARGA DA BATERIA.....	41
5 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

As necessidades energéticas humanas estão em constante mudança. Os objetivos e os modelos de utilização de energia do homem evoluíram consideravelmente ao longo de seu progresso histórico. Inicialmente, o uso da energia estava relacionado apenas com as necessidades fisiológicas, relacionadas a manutenção da vida, além de tarefas básicas a sobrevivência como, por exemplo, a utilização da energia térmica proveniente do fogo na caça de animais selvagem. Segundo Guimarães e Kuwabara (2011), os homens do período pré-histórico tinham como principal atividade a caça e a coleta de frutos e possuíam um consumo energético diário médio de 2000 a 3000 kcal.

Com os avanços tecnológicos e o constante crescimento populacional da espécie humana, essa começou a desenvolver e utilizar sistemas mais complexos para o aproveitamento das energias potenciais disponíveis na natureza. Para Farias e Sellitto (2011), a utilização em grande escala de solos férteis para agricultura exemplifica o aproveitamento da energia dos conversores biológicos, isto é, a energia biológica. Já para Hérmery, Bebie e Deléage (1993), a construção de jangadas e barcos à vela demonstra a utilização da energia eólica pelo ser humano.

O homem continuou ampliando sua necessidade energética ao longo dos anos, porém a matriz energética, a saber: conjunto de fontes de energia disponíveis ao homem para a utilização em suas atividades, continuou sem grandes mudanças até a idade média. Foi só a partir do desenvolvimento e amadurecimento das ciências exatas que aconteceram grandes transformações no uso de energia. A utilização dos combustíveis fósseis e da eletricidade causaram mudanças drásticas na matriz energética humana, na economia e no modo de organização das sociedades.

Hodiernamente, é fácil notar a importância das fontes de energia citadas. O combustível fóssil é utilizado como fonte de energia para grande parte dos automóveis, além de ser utilizado em alguns dos processos de geração da eletricidade. A energia elétrica está presente em quase todas as atividades econômicas, além de estar presente em inúmeras atividades inerente ao cotidiano humano como, por exemplo, iluminação, transporte, telecomunicações, processamento de dados, entre outros.

Portanto, de fato, a humanidade moldou drasticamente suas demandas energéticas e o perfil das fontes utilizadas na geração, no armazenamento e no emprego das energias disponíveis.

De acordo com o Farias e Sellitto (2011), o homem moderno tem um consumo médio diário de energia de cerca de 250 mil kcal. Isso ilustra a crescente demanda energética humana que relacionasse com os avanços tecnológicos e culturais. Quando se aborda a temática sobre consumo e suprimento energético, é importante discutir os limites das fontes de energia sobre a ótica da renovação e conservação do meio ambiente. É crescente a poluição acumulada no ambiente proveniente dos processos de aquisição de energia, já que esses métodos são, em sua grande maioria, baseados em fontes não renováveis que aceleram a degradação do planeta e seu ecossistema. Consoante Santos (2018), do ponto de vista ambiental, como a matriz energética mundial se apoia majoritariamente sobre fontes não renováveis de energia, isso contribui fortemente para a poluição ambiental e o aquecimento global. Ainda de acordo com Santos (2018), a falta de zelo no consumo dos recursos energéticos traz sérias consequências sobre o meio ambiente e o bem-estar social.

Diante do cenário exposto: complicação da poluição ambiental devido ao uso indiscriminado de fontes não renováveis de energia e crescente demanda energética devido ao crescimento populacional, faz-se necessário a discussão acerca das fontes de geração de energia elétrica renováveis como solução para os desafios encontrados no desenvolvimento humano.

A energia solar e a geração da eletricidade por meio dessa são assuntos populares nas pautas sobre energia renovável. Como a energia solar é abundante e renovável, e sua conversão em energia elétrica é limpa, são crescentes os incentivos e investimentos financeiros em todos os grupos econômicos da sociedade.

Barros, Sauaia e Koloszuk (2019) afirmam que de acordo com levantamento da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a partir de dados oficiais, já são mais de 2000 megawatts (MW) de capacidade instalada em usinas de geração centralizada solar fotovoltaica no Brasil, isso representa aproximadamente R\$ 10 bilhões em investimentos atraídos ao País desde 2014. Os citados investimentos econômicos acabam por acelerar o desenvolvimento tecnológico e científico na área em questão, tornando essa fonte de energia mais competitiva em relação aos tradicionais meios de geração de energia elétrica.

Visando promover o desenvolvimento e atrair recursos para a temática relacionada com os desafios encontrados no suprimento de energia à sociedade, é importante trazer à tona os assuntos relacionados ao gerenciamento de energia elétrica.

Entende-se por gerenciamento de energia elétrica quaisquer ações de monitoramento e gestão que visem melhorar a eficiência de um dado sistema de fornecimento de energia. O gerenciamento de energia elétrica visa fornecer um melhor entendimento acerca dos sistemas elétricos através do monitoramento, já que quanto mais se sabe acerca de um determinado fenômeno físico, mais possível fica realizar melhorias com o objetivo de melhorar a eficiência energética.

Os conceitos e métodos da área de gerenciamento de energia elétrica são adequados para serem implementados nos sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica. Esses sistemas em grande parte possuem sistemas acumuladores de carga, isto é, baterias para as horas nas quais há demanda, porém não há fornecimento de energia solar para conversão. Gerir tal sistema com o intuito de reduzir perdas, aumentar a vida útil dos equipamentos e aumentar a produção de energia elétrica são alguns dos objetivos que podem ser alcançados com a citada metodologia.

Atualmente a gestão dos sistemas de geração de energia elétrica está sendo realizada por meio de microcontroladores, que permitem o monitoramento remoto em tempo real das grandezas elétricas importantes dos sistemas, além de possibilitar o controle de cargas e o comando de atuadores.

De maneira geral, o presente estudo configura-se como trabalho de conclusão de curso e tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto através do uso de um controlador para um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica com baterias. Os dados adquiridos pelo controlador poderão ser acessos por qualquer usuário com conexão à Internet. Esses dados permitiram ao usuário entender e administrar de maneira mais eficiente seu sistema de módulos fotovoltaicos e acumuladores, permitindo uma maior vida útil dos mesmos.

Ao abordar tal temática, espera-se contribuir na busca por soluções aos desafios encontrados na tarefa de suprir as crescentes demandas energéticas e, ao mesmo tempo, diminuir a poluição causada pelos processos de aquisição de energia através de fontes não renováveis.

O trabalho também contribuirá com a divulgação e disseminação da temática em questão através de publicação do presente trabalho, tornando o método um pouco mais conhecido e ajudando a fortalecer a parcela da ciência pedagógica que trata das questões referenciadas no texto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nessa seção serão apresentados assuntos importantes sobre a temática abordada no presente estudo com o objetivo de fundamentar o conhecimento acerca dos mesmos para uma melhor compreensão do texto.

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1.1 Energia Solar

A energia solar é o termo utilizado para se referir à energia proveniente da luz e do calor solar.

Pode-se afirmar que a principal fonte de energia disponível no planeta Terra é a energia solar, sendo assim todos os seres vivos utilizam direta ou indiretamente a energia do Sol para suprir suas necessidades energéticas. Segundo Villalva e Gazoli (2012), a energia biológica, ou biomassa, tem origem na conversão de energia solar através da fotossíntese. A energia hídrica, muito utilizada na geração de energia elétrica através das hidroelétricas, tem origem na evaporação, nas chuvas e no degelo provocados pela energia solar. A energia eólica tem origem nas diferenças de temperatura e pressão atmosférica ocasionadas pelo aquecimento solar. Até mesmo os combustíveis fósseis como, por exemplo, o carvão, petróleo e gás natural têm origem baseada na energia solar, já que são resultados da decomposição da matéria orgânica produzida há milhares de anos.

Para uma determinada fonte de energia ser considerada renovável, é preciso que essa seja inesgotável para os padrões de consumo humano, isto é, independente da intensidade e modo de utilização, essa fonte energética é inexaurível, já que sempre se renova. De acordo com Villalva e Gazoli (2012), a superfície do planeta Terra recebe anualmente uma quantidade de energia solar, na forma de luz e calor, suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades mundiais durante o mesmo período, além disso energia solar ainda há uma vida útil de cerca de 8 bilhões de anos. Então, é possível afirmar que a fonte de energia solar é, de fato, renovável para o ser humano.

No que se refere a energia limpa, pode-se afirmar que para ser considerada limpa, uma fonte de energia precisa praticamente não causar impactos ambientais ou causar menor impacto quando comparada com outras fontes energéticas. As fontes

de energia renováveis são, geralmente, classificadas também como limpas. A energia solar, por exemplo, provoca alterações no ambiente devido aos processos de fabricação dos módulos fotovoltaicos, os quais utilizam produtos tóxicos e são realizados em grandes parques industriais, porém quando comparadas com os combustíveis fósseis, no geral, a energia solar produz impactos de menor relevância.

Portanto, devido as suas características apresentadas, capacidade de renovação e baixos impactos ambientais, pode-se confirmar que a utilização da energia solar é uma alternativa viável na busca de soluções para os desafios encontrados no suprimento da crescente demanda energética e controle da poluição ambiental.

2.1.2 Radiação Solar

Entende-se por radiação solar a energia do sol transmitida por radiação eletromagnética. “A energia do Sol é transmitida para o nosso planeta através do espaço na forma de radiação eletromagnética. Essa radiação é constituída de ondas eletromagnéticas que possuem frequências e comprimentos de onda diferentes.” (VILLALVA; GAZOLI, 2012, p. 39).

A energia que uma onda eletromagnética pode transmitir está associada à sua frequência. De acordo com a equação de Plank-Einsten, existe uma relação linear proporcional entre a energia de uma dada onda eletromagnética e sua frequência.

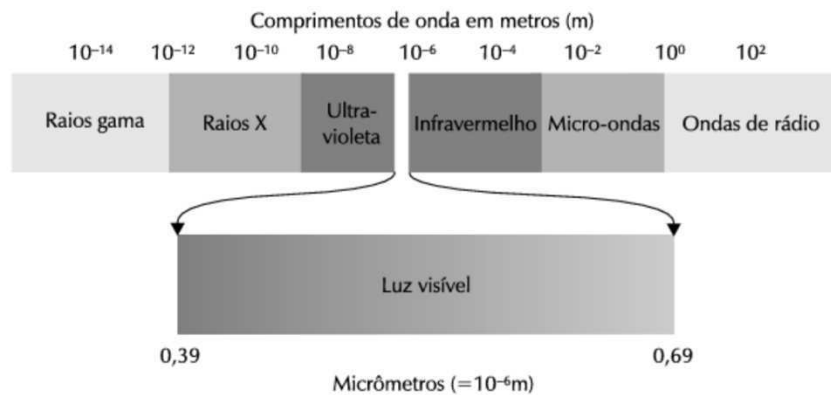
A frequência de uma onda eletromagnética multiplicada pelo seu comprimento de onda é igual a sua velocidade de propagação. Como as ondas eletromagnéticas viajam na velocidade da luz no vácuo, saber uma das duas características referidas, implica da dedução da outra através da relação citada.

A radiação solar é composta por ondas eletromagnéticas com uma ampla variedade de frequências. “Denomina-se espectro de radiação solar o conjunto de todas as frequências de ondas eletromagnéticas emitidas pelo sol.” (VILLALVA; GAZOLI, 2012, p.40). A figura 1 ilustra a composição do espectro da radiação solar com informações sobre o comprimento de onda das ondas eletromagnéticas.

Segundo Villalva e Gazoli (2012), as ondas eletromagnéticas vindas do Sol podem produzir efeitos diversos sobre os objetos e os seres vivo. Uma pequena parte das ondas podem ser captadas pelo olho humano e é denominado de luz visível. Outra

parte da radiação solar não pode ser vista pelo ser humano e sua presença pode ser percebida de outras formas.

Figura 1 - Composição do espectro da radiação solar.



Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012.

A radiação solar antes de atingir o solo precisa percorrer toda a atmosfera terrestre. Aquela sofre influência desta através de seus componentes como, por exemplo, massa de ar, partículas suspensas, camada de ozônio, poluição, entre outros.

A radiação solar é classificada em três tipos que variam conforme o modo como a mesma atinge uma dada superfície, são elas: radiação direta, radiação difusa e, por fim, radiação global.

“A radiação direta corresponde aos raios solares que chegam diretamente do Sol em linha reta e incidem sobre o plano horizontal com uma inclinação que depende do ângulo zenital¹ do Sol.” (VILLALVA; GAZOLI, 2012, p. 45).

“A radiação difusa corresponde aos raios solares que chegam indiretamente ao plano. É resultado da difração na atmosfera e reflexão da luz na poeira, nas nuvens e em outros objetos.” (VILLALVA; GAZOLI, 2012, p. 45).

Já a radiação global é definida como a soma da radiação direta e difusa que incidem sobre uma dada superfície.

2.1.3 Irradiação Solar e Insolação

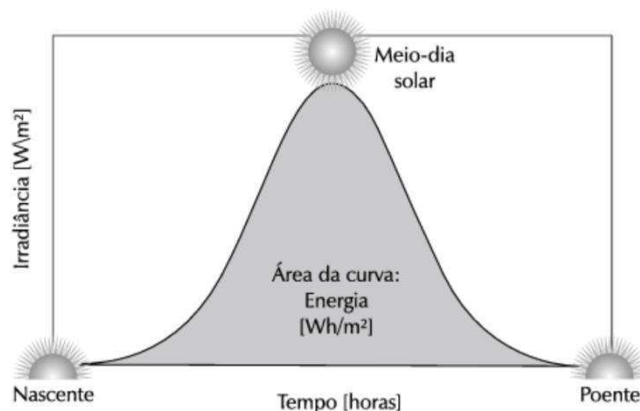
A irradiação é uma grandeza física empregada na quantificação da radiação solar, sua unidade é o watt por metro quadrado (W/m^2). Pela unidade em que a irradiação é expressa, pode-se afirmar que é uma medida de potência por área. Na

¹ “O zênite é uma linha imaginária perpendicular ao solo. O ângulo zenital do Sol é o ângulo entre o Sol e a linha zênite.” (VILLALVA, 2012).

física a potência é uma unidade de grandeza que corresponde a quantidade de energia transmitida durante um certo intervalo de tempo, logo maiores valores de irradiação solar, significa maior transporte de energia por intervalo de tempo.

A irradiação é importante, pois permite a quantificação da energia disponível, possibilitando a criação de parâmetros que podem ser utilizados em projetos de desenvolvimento de sistemas de geração fotovoltaico. A figura 2 ilustra o perfil da irradiação solar ao longo do dia no planeta Terra. Observe que a irradiação aumenta a medida que o ângulo azimutal diminui, chegando em seu valor máximo ao meio-dia solar. x

Figura 2 - Perfil de irradiação solar no planeta Terra ao longo do dia.



Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012.

“A insolação é a grandeza utilizada para expressar a energia solar que incide sobre uma determinada área de superfície plana ao longo de um determinado intervalo de tempo. Sua unidade é o Wh/m^2 (watt-hora por metro quadrado).” (VILLALVA; GAZOLI, 2012, p. 47). Ao observar a unidade da insolação, é possível perceber que essa grandeza física expressa a densidade de energia por área.

A insolação é também de extrema importância nos projetos de desenvolvimento e dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, pois permite a construção de um mapa de insolação. Esse mapa ilustra a quantidade de energia por metro quadrado recebidas do Sol diariamente em diversas áreas, que podem ser cidades, estados, países, entre outros.

2.1.4 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica. De acordo com Villalva e Gazoli (2012), esse fenômeno físico consiste na transformação

da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica através da criação de uma diferença de potencial, ou tensão elétrica, sobre uma célula formada por um sanduíche de materiais semicondutores. Caso a célula seja conectada a dois eletrodos, haverá tensão elétrica sobre eles. Se houver um caminho fechado entre os dois eletrodos, surgirá uma corrente elétrica.

Segundo Braga (2008), os materiais semicondutores possuem condutibilidade mais eficiente que os isolantes e menor do que os condutores. Esse tipo de material possui faixas de energia distintas. A faixa que permite a presença de elétrons é chamada de faixa de valência, já a faixa que não há presença de elétrons é denominada de faixa de condução. Entre essas duas faixas encontra-se o hiato energético, que age como uma barreira energética impedindo a movimentação dos elétrons entre as duas faixas citadas. Isso significa que para os elétrons da faixa de valência serem movimentados para a faixa de condução é necessário que a radiação eletromagnética os excite com energia suficiente para superar o hiato energético.

Ainda de acordo com Braga (2008), os materiais mais utilizados na fabricação de semicondutores para aplicações fotovoltaicas é o silício, fósforo e o boro. Os átomos de silício possuem quatro elétrons que podem se ligar aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Se for adicionado, a esta rede, átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, haverá um elétron em excesso, fracamente ligado ao átomo, necessitando pouca energia para deslocá-lo para a zona de condução. O fósforo é caracterizado como elemento dopante N.

Se em vez de um elemento que possua cinco elétrons disponível para realizar ligações, seja adicionado o boro, que possui apenas 3 elétrons nessa condição, haverá uma falta de um elétron para satisfazer as ligações com o átomo de silício, neste caso surgirão lacunas que podem ser ocupados por elétrons vizinhos. O boro é classificado como elemento dopante P.

Ao se introduzir átomos de boro em uma face de silício puro, e na outra face, átomos de fósforo, será criada uma junção PN. A abundância de elétrons no elemento dopante N passará a preencher as lacunas presente no composto dopante P. Esse deslocamento de cargas tornará o elemento N eletricamente positivo e o elemento P negativamente carregado. Essa diferença de carga cria um campo elétrico que dificulta gradativamente a passagem dos elétrons do lado N para o lado P. “Este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado N.” (BRAGA, 2008, p. 7).

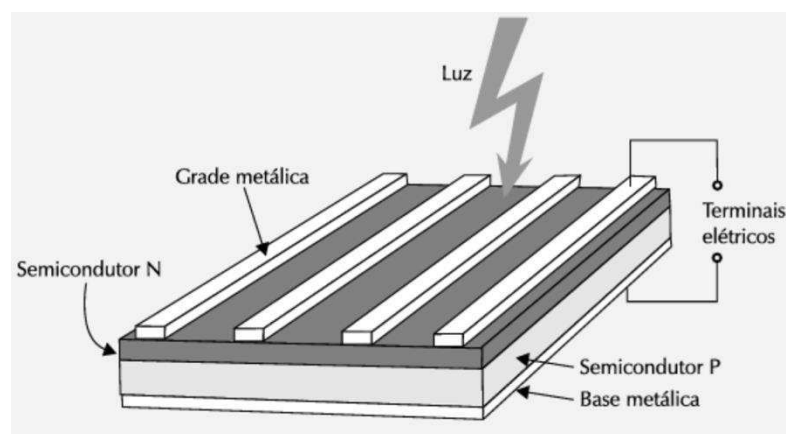
Por fim, caso essa junção PN seja excitada através de, por exemplo, uma radiação eletromagnética com energia suficiente para superar o hiato energético, haverá a geração de pares elétrons-lacuna. Devido ao campo elétrico presente na junção PN, os pares são deslocados, criando um potencial elétrica. Caso haja uma carga ligada ao material semiconductor, haverá corrente elétrica.

2.1.5 Célula e Módulo Fotovoltaicos

A célula fotovoltaica é a unidade básica que permite a conversão da radiação eletromagnética solar em energia elétrica. Ela é composta por duas camadas de materiais semicondutores P e N, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica, além de uma camada antirreflexo para aumentar a absorção da radiação solar.

A figura 3 ilustra uma célula fotovoltaica com indicações dos componentes que a constitui.

Figura 3 - Célula fotovoltaica e seus componentes.



Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012.

Note que a camada superior N da célula fotovoltaica é fina, isso facilita que a radiação chegue até a junção PN, gerando os pares de elétrons-lacuna. Caso haja radiação eletromagnética chegando à junção PN, haverá tensão elétrica de 0,6 V nos terminais elétricos da célula.

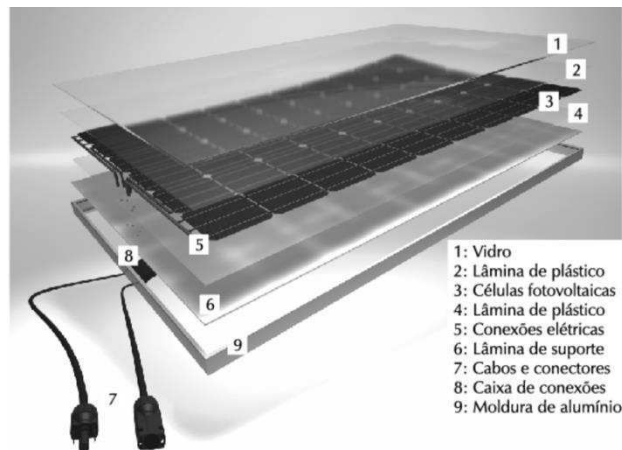
A potência elétrica fornecida por uma célula fotovoltaica é baixa. Utilizar apenas uma célula, limitaria as aplicações dos sistemas fotovoltaicos, por isso é feita a ligação das células em conjunto, formando módulos fotovoltaicos que desenvolvem maiores tensões elétricas e maiores potências.

“Uma célula fotovoltaica sozinha produz pouca energia e apresenta tensão elétrica muito baixa, mas várias células podem ser ligadas em série para fornecer uma grande quantidade de energia elétrica e uma tensão mais elevada.” (VILLALVA; GAZOLI, 2012, p. 68).

O módulo fotovoltaico é constituído por uma aglomeração de células fotovoltaicas ligadas em série para que haja fornecimento de valores de tensão mais elevados.

A figura 4 ilustra as camadas presentes nos módulos fotovoltaicos comerciais e a descrição de seus componentes.

Figura 4 - Módulo fotovoltaico e seus componentes.



Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012.

Comercialmente os módulos fotovoltaicos apresentam geralmente tensões entre 36 até 60 V, dependendo da sua classe de potência. Já no que se refere a corrente elétrica, os módulos fornecem em média 8 A.

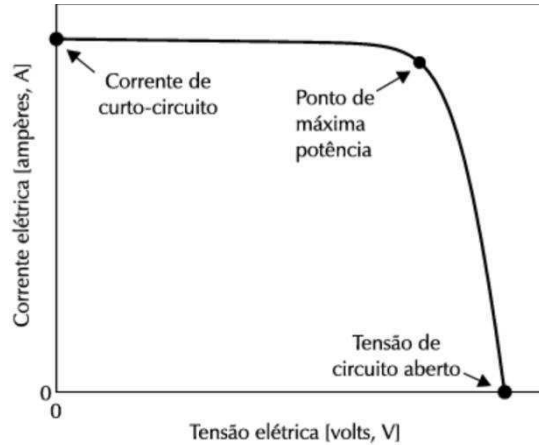
Esses valores são estimativas, Villalva e Gazoli (2012) ressalta que:

Um módulo fotovoltaico não se comporta como uma fonte elétrica convencional. O módulo fotovoltaico não apresenta uma tensão de saída constante nos seus terminais. A tensão elétrica depende da sua corrente e vice-versa. O ponto de operação do módulo fotovoltaico, ou seja, o valor da tensão e da corrente nos seus terminais, depende do que está conectado aos seus terminais. Se conectarmos um aparelho que demanda muita corrente, a tensão de saída do módulo tenderá a cair. Por outro lado, se conectarmos uma carga que demanda pouca corrente, a tensão do módulo será mais elevada, tendendo à tensão de circuito aberto. (VILLALVA; GAZOLI, 2012, p.76-77).

A seguir serão apresentados a curva de potência versus tensão e a curva de corrente elétrica versus tensão para se entender melhor o funcionamento elétrico dos

módulos fotovoltaicos. A figura 5 ilustra o comportamento da corrente elétrica de saída do módulo associando-o ao perfil de tensão do módulo fotovoltaico.

Figura 5 - Curva característica de corrente e tensão de um módulo fotovoltaico.

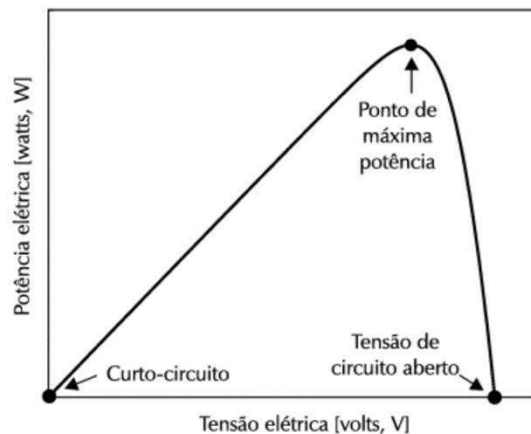


Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012.

A corrente de curto-circuito ocorre quando os terminais do módulo são curtos-circuitados. Nesse ponto de operação a corrente é máxima e não há tensão entre os terminais. Já quando os terminais estão abertos, sem nenhuma carga, não há corrente e a tensão elétrica atinge seu valor máximo.

A figura 6 ilustra a potência fornecida pelo módulo diante ao perfil de tensão possível.

Figura 6 - Curva característica de potência e tensão de um módulo fotovoltaico.



Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012.

Como pode ser observado pelas duas curvas, há apenas um ponto onde a potência é máxima. O controlador do módulo deve priorizar a operação nesse ponto, pois há mais geração de energia elétrica deste modo.

2.2.6 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser autônomos ou interligados à rede elétrica. No escopo desse projeto será abordado os sistemas autônomos, que possuem elementos acumuladores de carga.

Os sistemas fotovoltaicos autônomos, também chamados de sistemas isolados, são empregados em locais não atendidos por uma rede elétrica. Podem ser usados para fornecer eletricidade para residências em zonas urbanas, na praia, no *camping*, em ilhas e em qualquer lugar onde a energia elétrica não esteja disponível. (VILLALVA; GAZOLI, 2012, p. 99).

Segundo Braga (2008), um sistema do tipo citado acima normalmente é composto de uma placa ou conjunto de placas fotovoltaicas, um controlador de carga, uma bateria e, dependendo da aplicação, um inversor de tensão contínua para tensão alternada.

Os módulos, como já foi visto, são responsáveis pela conversão da radiação eletromagnética em energia elétrica na forma de corrente contínua. Como não há ligação com rede de distribuição elétrica, é necessário a presença de um elemento acumulador de carga (bateria) para os momentos no qual haja demanda elétrica, porém não se tenha luz solar para realizar geração de eletricidade. Algumas aplicações necessitam de energia alternada, caso seja o caso, o sistema deve possuir um inverso, adequando a forma da corrente elétrica às necessidades da aplicação em questão. Por fim, tem-se o controlador de carga que tem como função controlar o carregamento e descarregamento da bateria, monitorando seus parâmetros para a aumentar sua eficiência e sua vida útil, além de controlar o ponto de operação do módulo fotovoltaico.

2.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO

Os processos de geração e obtenção de energia utilizados pelo homem, como já foi apresentado nesse estudo, causam grandes prejuízos ao meio ambiente. A crescente demanda de eletricidade impõe a necessidade de desenvolver sistemas de geração de energia elétrica sustentáveis, visando não só suprir essas necessidades energéticas, mas também o desenvolvimento sustentável.

Entende-se por sustentabilidade:

“[...] o conjunto dos processos e ações que se destinam a manter a vitalidade e a integridade da Mãe Terra, a preservação de seus ecossistemas com todos os elementos físicos, químicos e ecológicos que possibilitam a existência e a reprodução da vida, o atendimento das necessidades da presente e das futuras gerações, e a continuidade, e a continuidade, a expansão e a realização das potencialidades da civilização humana em suas várias expressões.” (BOFF, 2012, p.14).

Nos sistemas de geração de energia solar fotovoltaico a poluição e degradação do meio ambiente não é expressiva, já que, como já fora descrito, esse tipo de sistema utiliza fontes de energia limpas e renováveis. Entretanto, vale lembrar que os processos de fabricação dos componentes de um sistema fotovoltaico causam bastante poluição devido a utilização de produtos químicos, matéria prima não renovável e grandes plantas industriais, afetando o habitat natural de várias espécies. As baterias, por exemplo, utilizam metais pesados em sua composição, além disso em seu processo de fabricação são emitidos grandes quantidades de CO₂.

Diante disso, para que um sistema fotovoltaico de geração atinja de fato baixos níveis de poluição de maneira geral, é importante que seus componentes sejam utilizados de modo que permitam sua maior eficiência e vida útil, com mais tempo de uso disponível, menor a necessidade de trocar elementos que possuem processos de fabricação poluentes. Tais objetivos: expansão da vida útil dos componentes de um sistema e maior eficiência do mesmo, são passíveis de serem atingidos por meio da implementação de um sistema de monitoramento.

Um sistema de monitoramento permite observar o funcionamento de um sistema físico de forma segura, rápida e automática. O monitoramento tem como objetivo desenvolver um melhor entendimento das características físicas do sistema como um todo, visando o processamento e construção de uma base de dados que permita ao controlador do sistema utilizá-lo de maneira mais eficiente, mais segura e sob os critérios nominais dos equipamentos que o compõe.

De modo geral, pode-se afirmar que um sistema de monitoramento de dados é constituído de componentes designados para aquisição de dados e outro para o processamento desses.

De acordo com Dally et al. (1993), a obtenção de dados através de sistemas de monitoramento tem gerado enormes avanços no controle eficiente de sistemas, pois permite rapidez e confiabilidade na aquisição dos dados, contribuindo para a tomada rápida de decisões.

2.2.1 Sistema de Aquisição de Dados

Um sistema de aquisição de dados pode ser definido como os processos utilizados para coletar informações a respeito de um determinado fenômeno ou sistema.

Com o avanço da tecnologia, é muito comum que a aquisição de dado seja feita por sistemas eletrônicos, os quais possuem componentes eletrônicos capazes de medir, organizar e armazenar os dados de maneira rápida, confiável e versátil.

Segundo Silva et al. (2007), os sistemas de aquisição de dados necessitam de algum tipo de parâmetro que lhes permita avaliar o estado atual do sistema. Essa interface, geralmente, consiste de sensores que medem características dos componentes do sistema, por exemplo, temperatura, umidade relativa, intensidade luminosa, tensão, corrente elétrica, entre outros. A precisão de um sistema de aquisição de dados irá depender dos aspectos construtivos do sensor.

De acordo com Marchesan (2012), os sensores são dispositivos que mudam seu estado conforme a interação com o ambiente. A depender de seus aspectos construtivos, ele pode interagir com diversos tipo de grandezas físicas, convertendo-os em sinais elétricos. De modo geral, os sensores têm como valores de saída sinais elétricos oscilante proporcionalmente as variações da grandeza medida.

Vale ressaltar que os sensores apenas convertem a grandeza física que se deseja medir em sinal elétrico correspondente. Para o sistema de processamento conseguir realizar suas manipulações com os dados coletados, é preciso realizar uma adequação do mesmo.

Os dispositivos de processamentos são, em sua grande maioria, dispositivos sensíveis a grandes tensões ou correntes elétricas, isto é, os computadores são projetados para terem em suas entradas valores de tensão elétrica dentro de uma determinada faixa, que é, geralmente, de valores de baixa intensidade.

Para realizar tal adequação, é necessário que existam que condicionadores de sinal, isto é, circuitos que adequam os sinais dos sensores através de ampliações ou atenuações, isolando e filtrando para medições mais precisas.

Além disso, esses dispositivos não conseguem interpretar sinal analógicos, contínuos no tempo, por isso é preciso que antes dos dados serem entregues à unidade de processamento, eles sejam digitalizados, através de um conversor analógico digital (A/D).

Braga (1996) explica que os computadores e muitos circuitos que processam dados obtidos de sensores operam exclusivamente com sinais digitais. Assim, se a saída de um sensor apresentar sinais analógicos e precisar transferir este sinal para um circuito digital, como de um computador, será necessário convertê-lo por meio de um dispositivo denominado conversor analógico digital.

Para Araújo (2017), os conversores A/D têm como principal objetivo converter, como o próprio nome já indica, um sinal analógico para digital, através de uma amostragem com taxa definida do sinal.

Por fim, um sistema de aquisição de dados deve possuir um meio de comunicação com o sistema de processamento para que seja possível a transmissão dos dados coletados. Essa transmissão pode ocorrer por meio de barramentos, por conexões sem fio, entre outros.

2.2.2 Microcontrolador

Segundo Silva (2009), os microcontroladores são computadores de propósito específico. Eles possuem tamanho reduzido, baixo custo e baixo consumo de energia. Devido a esses fatores há diversos segmentos, que os utilizam, tais como a indústria automobilística, de telecomunicações, de brinquedos, de eletrodomésticos, de eletroeletrônicos, bélica, entre outros.

Martins (2005) define que, tipicamente, um microcontrolador caracteriza-se por incorporar no mesmo encapsulamento um microprocessador (com a finalidade de interpretar as instruções de programa e processar dados), memória de programa (com a finalidade de armazenar de maneira permanente as instruções do programa e resultados dos processamentos de dados), memória de dados (com o objetivo de memorizar os valores associados com as variáveis definidas em tempo de execução), uma série de pinos de entrada e saída (com a finalidade de permitir a comunicação o meio externo) e vários periféricos (tais como temporizadores, controladores de interrupção, temporizadores, comunicação serial, geradores de modulação por largura de pulso, entre outros).

É possível encontrar grande variedade de microprocessadores no mercado, o que os diferencia, segundo Martins (2005), são, em geral, a velocidade de processamento, a quantidade de memória interna disponível para armazenar instruções e dados de programas, quantidade de pinos de entrada e saída, a forma

de alimentação, os tipos e as quantidades de periféricos, a arquitetura e o conjunto de instruções disponibilizado nos circuitos interno, além de funções de comunicação como, por exemplo, o *bluetooth* e conexão sem fio.

Geralmente, o fabricante de um microcontrolador disponibiliza um ambiente de desenvolvimento integrado, ou *Integrated Development Environment* (IDE), que é uma plataforma baseada em alguma linguagem de programação para desenvolvimento e escrita de programas que podem ser compilados e armazenados no microcontrolador.

3 MÉTODOS

Na presente seção do trabalho serão apresentados os procedimentos experimentais e práticos adotados no desenvolvimento do sistema de monitoramento remoto para elementos de geração fotovoltaica com acumuladores de carga.

3.1 DELIMITAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

Como descrito na fundamentação teórica do trabalho, um sistema de monitoramento remoto é constituído de elementos destinados para a aquisição acurada de dados e para o processamento destes. A aquisição de dados envolve sensores, conversores A/D, entre outros, já o processamento dos dados coletados é realizado, normalmente, por um microcontrolador, através de sua unidade lógica.

O sistema de monitoramento remoto terá como unidade de processamento o microcontrolador ESP8266. Esse modelo de controlador possui dispositivos e interfaces que facilitam a comunicação sem fio do mesmo com servidores e plataformas *online*.

O ESP8266 é um microprocessador encontrado no mercado, fabricado pela empresa *Espressif*, possui baixo custo e conectividade sem fio, além de um circuito totalmente integrado com interfaces de entrada e saída, conversor A/D, antenas para radiação e recebimento de ondas eletromagnéticas e processador de 32 *bits* com frequência de *clock* de 160 MHz. Atualmente, esse microprocessador está popular no desenvolvimento de solução sem fio em todos os contextos, seja esse, industrial ou residencial.

No intuito de monitorar os aspectos físicos do sistema de geração fotovoltaica, deseja-se observar as tensões nos terminais do módulo fotovoltaico e da bateria do sistema. As correntes fornecidas pelo módulo fotovoltaico e pela bateria também serão monitoradas com o intuito de se obter uma melhor e mais completa representação do comportamento do sistema. Além disso, as temperaturas do módulo e da bateria serão inspecionadas pelo sistema. Essas variáveis foram escolhidas, pois elas influenciam diretamente a eficiência e a vida útil do sistema de geração como um todo.

Para tanto, será necessário a utilização de sensores e condicionadores de sinais para que os mesmos possam ser interpretados pelo ESP8266. A tensão, como

se trata de um sinal de natureza elétrica interpretável pelo microcontrolador, não precisam de sensores na sua captação, porém, como já fora apresentado, os módulos solares e as baterias possuem valores de tensão em sua operação incompatíveis com as portas de entradas do microcontrolador em questão. Para tornar compatíveis serão reduzidos de maneira proporcional os valores de tensão presente no sistema.

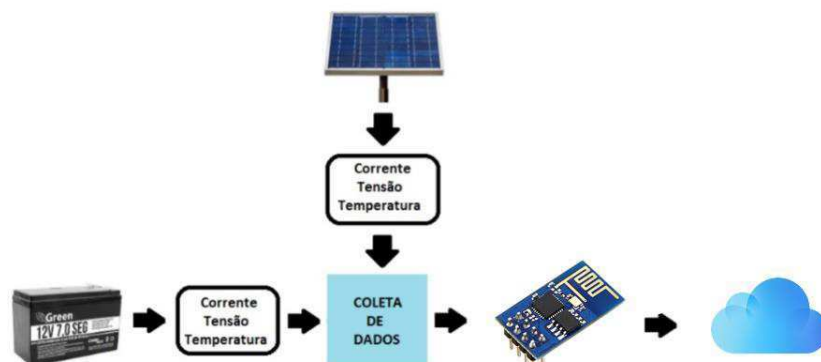
O sinal de corrente elétrica, para que seja analisado pelo ESP8266, precisa ser transformado em tensão elétrica com variações e oscilações proporcionais ao sinal original. A intensidade desse sinal de tensão deve respeitar os limites nominais dos pinos de entrada do microcontrolador. Para isso, deve-se utilizar um sensor capaz de traduzir um sinal de corrente elétrica em tensão, ao mesmo tempo que condiciona proporcionalmente o sinal para faixa de valores adequadas ao microcontrolador.

Já para a temperatura, é necessário a utilização de um sensor térmico capaz de traduzir os sinais térmicos da bateria e do painel fotovoltaico em tensões elétricas proporcionais e adequadas aos pinos de entrada do microcontrolador.

Todos esses sinais citados são de natureza contínua, logo, para que seja possível interpretação e análise de dados, é necessário a digitalização dos mesmos. Através de um conversor A/D, os sinais analógicos, contínuos no tempo, são digitalizados. O conversor A/D realiza a digitalização dos sinais de entrada através da amostragem periódica à uma taxa definida. O ESP8266 já possui em seus circuitos integrados conversores A/D facilitando ainda mais essa aquisição de dados.

Por fim, o ESP8266 será utilizado para transferir para uma plataforma *online* os dados coletados para que qualquer usuário com acesso a Internet tenha acesso as informações relevantes do sistema fotovoltaico, acompanhando em detalhes a sua eficiência e seus parâmetros relevantes à vida útil do mesmo. A figura 7 ilustra os componentes e a disposição do sistema.

Figura 7 - Disposição do sistema do projeto.



Fonte: Adaptado de ARAÚJO, 2017.

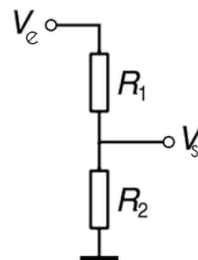
3.2 CONDICIONAMENTO DE SINAIS

3.2.1 Tensão

Como o conversor A/D do ESP8266 suporta uma tensão máxima de 3,3 V, será utilizado um divisor de tensão com o objetivo de condicionar proporcionalmente a tensão dos terminais da bateria e do módulo para valores iguais ou menores que 3,3 V.

O divisor de tensão consiste em uma disposição de resistores com a finalidade de obter valores de tensão proporcionais ao sinal original, porém de menor intensidade. A figura 8 ilustra a disposição de um divisor de tensão.

Figura 8 - Divisor de tensão.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Percebe-se que o sinal de saída V_s será uma proporção do valor de entrada V_e , determinada pelos valores dos resistores R_1 e R_2 . A equação matemática a seguir descreve esse comportamento.

$$V_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_e \quad (1)$$

Como os valores entregues ao microcontrolador não devem exceder 3,3 V, deve-se projetar os valores dos resistores do divisor de tensão de modo que a máxima tensão no módulo fotovoltaico ou na bateria produza uma saída no divisor igual ou menor que 3,3 V.

A máxima tensão elétrica que um módulo fotovoltaico de 20 W, modelo usado como parâmetro, pode atingir, é, de acordo com manuais dos fabricantes, em média, de 21,6 V.

Já uma bateria de 12 V, muito comum, segundo Araújo (2017), em sistemas fotovoltaicos autônomos com cargas como cercas elétricas, alarmes, iluminação de

emergência, entre outros, possui valores de tensão em sua operação entre 10 V até 14 V.

Será considerado que a máxima tensão nos terminais do módulo fotovoltaico e nos terminais da bateria são, respectivamente, 23V e 16V. Diante disso, o divisor de tensão para o módulo possui os valores dos resistores R_1 e R_2 , respectivamente, iguais a $6k\Omega$ e $1k\Omega$. Já o divisor de tensão para a bateria possui os valores dos resistores R_1 e R_2 , respectivamente, iguais a $4k\Omega$ e $1k\Omega$. Esses valores de resistência foram escolhidos, pois fornece a proporção correta para reduzir a tensão a níveis desejados, e o resistor de $1k\Omega$ é facilmente encontrado no mercado, os demais valores podem ser obtidos a partir de uma associação em série de resistores de $1k\Omega$.

3.2.2 Corrente Elétrica

As correntes elétricas fornecidas pelo módulo fotovoltaico e pela bateria apresentam valores elevados quando comparados com a faixa de valores que o ESP8266 trabalha, por isso será necessário a utilização de circuitos capazes traduzir essas correntes elétricas em um sinal correspondente de tensão atenuado.

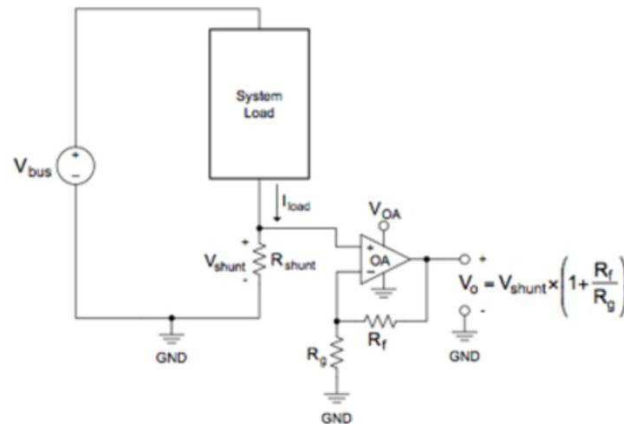
Para tanto, será utilizada a técnica de medição de corrente elétrica por meio de um resistor *shunt*, já que esse método de aferição proporciona a tradução de uma corrente elétrica em um sinal de tensão elétrica de pequena intensidade.

O citado método consisti na utilização de um resistor de baixa resistividade, quando comparado com a resistência da carga alimentada. Esse resistor é colocado em série com a carga cuja corrente deseja-se mensurar, devido a essa disposição, a corrente que percorre o resistor *shunt* é a mesma que a da carga. Ao percorrer o referido resistor, essa corrente provocará uma queda de tensão proporcional à sua magnitude. A partir da Lei de Ohm, é possível determinar, aproximadamente, por meio algébrico, a corrente elétrica da carga. Assumindo como parâmetro que no sistema fotovoltaico a alimentação da carga será sempre realizada pela bateria e essa, por sua vez, sempre carregada pelo módulo, são necessários dois resistores *shunt*, um para medir a corrente elétrica fornecida do módulo para o carregamento da bateria, e outro para medir a corrente fornecida pelo elemento acumulador de energia para a alimentação da carga.

Segundo Araújo (2017), além disso, há a necessidade de um amplificador operacional que amplifica a tensão diferencial em cima do resistor para que o

microcontrolador possa digitalizar antes de enviar as informações para o sistema de monitoramento. A figura 9 ilustra a disposição de um medidor de corrente elétrica através de resistor *shunt*.

Figura 9 - Medição de corrente elétrica através de resistor shunt.



Fonte: SEMING, WELLS, 2012.

Estima-se que a corrente máxima possível do sistema tem magnitude de 2 A, logo as resistividades dos resistores R_f e R_g , foram escolhidos para que em situação de corrente máxima, a tensão de saída do circuito seja 3,3 V, evitando que danifique o microcontrolador com tensão fora dos valores nominais de operação. Os valores de R_f e R_g escolhidos foram, respectivamente, $1,5k\Omega$ e 100Ω , mais uma vez, valores comerciais de fácil acesso.

Vale ressaltar que esse método de medição de corrente, devido as suas características e metodologia, provoca alterações nas características elétricas do sistema que se deseja medir a corrente, isto é, essa técnica é invasiva. A adição de um resistor entre a carga e o terra acaba provocando alterações na própria corrente que se deseja medir, porém para a aplicação de monitoramento de corrente elétrica de sistemas fotovoltaicos, essas alterações podem ser descartadas.

3.2.3 Temperatura

Para medição da temperatura, existe inúmeros sensores de temperatura, com precisão satisfatória para o presente projeto, no mercado de eletrônicos.

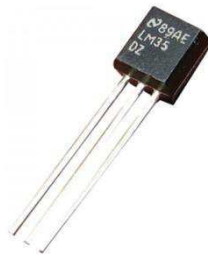
O sensor LM35 será usado no presente projeto com a finalidade de medir temperaturas com precisão coerente à aplicação em questão. Segundo Araújo (2017), esse dispositivo é um sensor de precisão que apresenta uma tensão linear na saída

proporcional à temperatura e não necessita de calibração para fornecer valores com variações de $1/4\text{ }^{\circ}\text{C}$, dentro da faixa de temperatura entre $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

De acordo com Mota (2017), sua saída terá um sinal de tensão de 10mV para cada $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura, logo dentro da faixa de temperatura possíveis no sistema de geração fotovoltaica, não haverá valores de tensão na saída do sensor que excedam a tensão máxima de 3,3 V suportada pelo ESP8266.

Outras características que podem ser destacadas do citado sensor são: baixa impedância de saída, baixo consumo de energia, baixo aquecimento, entre outros.

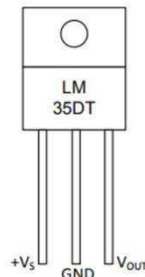
Figura 10 - Sensor de temperatura LM35.



Fonte: MOTA, 2017.

A figura 11 demonstra as funções de cada pino do sensor, de acordo com seu datasheet.

Figura 11 - Pinos do sensor de temperatura LM35.



Fonte: INSTRUMENTS, 2016.

O terminal $+V_s$ é o pino de alimentação positiva, o terminal GND é o pino de aterramento ou referência e, por fim, o terminal V_{out} que é o pino que apresenta o sinal de saída. Esse último pode ser conectado diretamente ao ESP8266 para que o sinal seja digitalizado e analisado.

3.3 PLATAFORMA WEB E PROCESSAMENTO DE DADOS

A crescente demanda por conectividade nos sistemas embarcados e o aumento da utilização de sistemas de monitoramento remoto de dados, exigem a

utilização de uma plataforma online que realize transferência, gerenciamento, análise e processamento de dados de maneira eficaz.

O *ThingSpeak*, segundo Pasha (2016), é um API (*application programming interface*, ou interface de programação de aplicações) baseada em protocolos de comunicação *web* que permite o armazenamento e processamento de dados coletados através de sensores conectados a um microcontrolador que possua conectividade com a Internet. Além disso, o *ThingSpeak* possui uma aplicação *web* integrada à API, a qual permite a visualização gráfica dos dados, acesso a históricos, criação de alertas, entre outros. Por fim, vale ainda ressaltar que o *ThingSpeak* possui integração com o *software* MATLAB, programa de alta performance voltado para manipulações matemáticas, cálculos numéricos, processamento de sinais, análise numérica, entre outros, tornando assim essa plataforma útil para projetos que envolvam aquisição, armazenamento remoto e processamento de dados.

De acordo com Pasha (2016), a função primordial do *ThingSpeak* são os canais, os quais representam as variáveis monitorados pelos sensores. Assim que esses canais são criados e configurados os dados associados a eles podem ser visualizados graficamente, processados por meio do *software* MATLAB, associados a alertas de monitoramento, entre outros.

Segundo Maureira, Oldenhof e Teernstra (2014), o *ThingSpeak* tem como pontos fortes: fácil compreensão até mesmo para leigos, compatibilidade com várias linguagens de programação, serviço gratuito, velocidade de processamento, entre outros. Já como principal ponto negativo, pode-se destacar: O monitoramento remoto, por meio da aplicação *web*, possui a frequência de amostragem limitada a 15 segundos por canal. Para monitoramento de sistemas de geração fotovoltaico esse limite não é um problema, já que as alterações do comportamento do mesmo são, em sua grande maioria, de caráter lento.

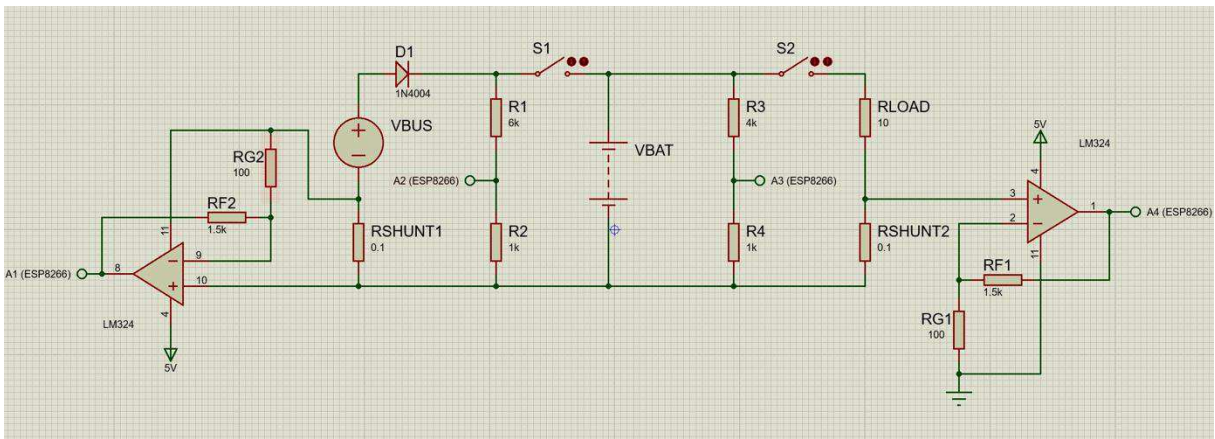
Como o ESP8266 possui conectividade com a Internet, ele será programado de maneira a manter uma comunicação com os servidores da plataforma *ThingSpeak*, onde os dados serão armazenados e visualizados por qualquer usuário que possua acesso a Internet. Para tanto, o microcontrolador deve conectar-se ao servidor do *ThingSpeak* por meio do seu endereço IP (protocolo da Internet), após isso haverá comunicação e transferência dos dados adquiridos pelos sensores: tensão nos terminais do módulo fotovoltaico, tensão nos terminais da bateria, temperatura da conjunto solar e do elemento acumulador de carga e, por fim, as correntes elétricas

capturadas a partir dos resistores *shunts* tanto do módulo fotovoltaico como da bateria. Cada variável citada, necessitaria de um canal na API do *ThingSpeak*.

3.4 DIAGRAMA ELÉTRICO

Nesse capítulo do trabalho, será apresentado e explicado o diagrama final do projeto de monitoramento remoto. A figura 12 ilustra o diagrama elétrico final do sistema de monitoramento desenvolvido no presente estudo.

Figura 12 - Diagrama elétrico final do sistema de monitoramento remoto.



Fonte: Autoria Própria, 2019.

O diagrama é possível visualizar elementos do sistema de geração fotovoltaico. A fonte de tensão, com identificação V_{bus} , representa o módulo fotovoltaico, já que esse pode ser, devido ao seu comportamento elétrico, considerado uma fonte de tensão.

Em série com a fonte de tensão, há um resistor de baixa resistividade, identificado como R_{shunt_1} , esse é o resistor shunt a partir do qual será realizada a medição de corrente elétrica do módulo fotovoltaico.

Conectado aos terminais do R_{shunt_1} está o circuito elétrico responsável por condicionar o sinal para interpretação do mesmo pelo ESP8266. Ainda em série com a fonte de tensão, V_{bus} , há um diodo 1N4004 cuja função é evitar que a bateria forneça corrente ao módulo, caso a sua tensão terminal fique maior do que a tensão terminal do módulo fotovoltaico, quando a mesma estiver sendo carregada.

Os resistores R_1 e R_2 constituem o divisor de tensão responsável por condicionar, de maneira adequada, a tensão do módulo fotovoltaico, para que essa possa ser lida pelo ESP8266.

A bateria, identificada como V_{bat} , encontra em paralelo com os resistores R_3 e R_4 , os quais constituem o divisor de tensão responsável por condicionar, de maneira adequada, a tensão da bateria, para que essa possa ser lida pelo ESP8266.

O resistor R_{load} representa as cargas que eventualmente podem ser alimentadas pelo sistema de geração fotovoltaico. O resistor em série com ele, indicado por R_{shunt_2} , é o resistor shunt a partir do qual será realizada a medição de corrente elétrica fornecida pela bateria. Conectado aos terminais do R_{shunt_2} está o circuito elétrico responsável por condicionar o sinal para interpretação do mesmo pelo ESP8266.

No diagrama elétrico há identificações, também chamadas de etiquetas, que indicam quais pontos do circuito devem ser interligados às portas analógicas do módulo ESP8266 para que os sinais analógicos possam ser digitalizados pelos conversores A/D. Os pontos indicados por A1(ESP8266) e A4(ESP8266) contêm, respectivamente, os sinais equivalentes a corrente elétrica do módulo fotovoltaico e da bateria. Os pontos indicados por A2(ESP8266) e A3(ESP8266) contêm, respectivamente, os sinais equivalentes a tensão do módulo fotovoltaico e da bateria.

Por fim, as chaves S1 e S2 representam os relés controlados pelo microcontrolador, lembrando que as chaves são eventos mutualmente excludentes, ou seja, quando uma chave se encontra fechada, a outra necessariamente estará aberta. Os sensores térmicos não foram representados, porém há um sensor LM35 para o módulo fotovoltaico e outro para a bateria, ambos possuem suas saídas ligadas aos pinos analógicos do ESP8266.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nesse capítulo do trabalho serão apresentados os resultados experimentais realizado com o objetivo de testar o sistema de monitoramento remoto, observando se os valores obtidos condizem com o comportamento esperado de um sistema fotovoltaico.

A fim de observar o comportamento do sistema como um todo, ou seja, em todas as possibilidades de atuação, foi realizado um experimento para o processo de carga da bateria e outro para o processo de descarga da bateria. Além disso, vale lembrar que antes de serem realizado os citados testes, foi feito um teste de simulação, visando evitar possíveis avarias aos componentes elétricos do sistema por inadequação de projeto.

4.1 SIMULAÇÃO

Como explanado acima, a simulação foi realizada com o objetivo de verificar os possíveis níveis de tensão e corrente elétrica presentes ao longo do funcionamento do circuito elétrico projetado, e observar se esses níveis estão de acordo com os valores nominais de operação dos componentes elétricos do sistema de monitoramento.

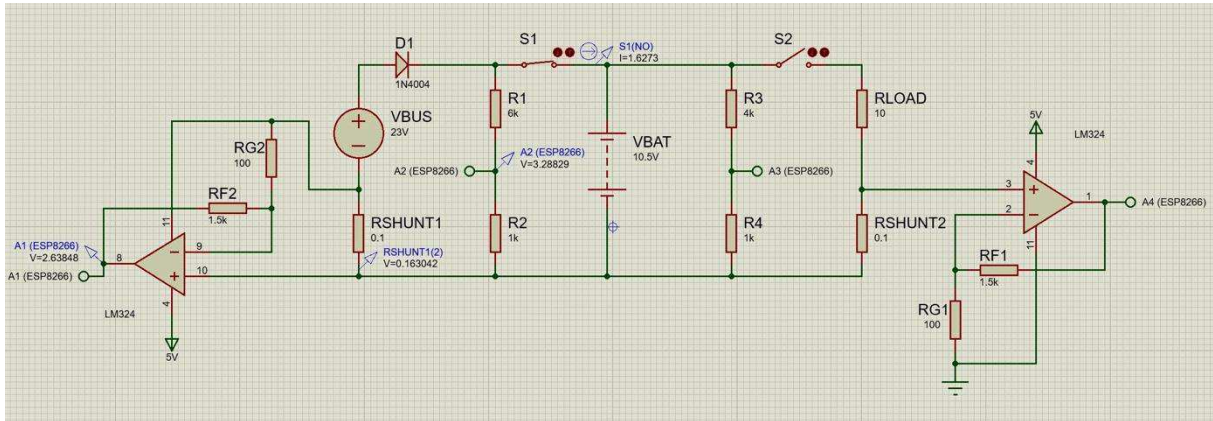
Foram simuladas duas situações: carga de bateria pelo módulo fotovoltaico e a sua descarga por meio de uma carga de 10Ω .

4.1.1 Carga da Bateria por meio do Módulo Fotovoltaico

No intuito de provocar os máximos níveis de tensão e corrente elétrica para a situação de carga da bateria por meio do módulo fotovoltaico, considerou-se que o módulo fotovoltaico estaria operando em sua tensão máxima, isto é, 23 V, já a bateria estaria totalmente descarregada, apresentando uma tensão em seus terminais de 10,5 V. Logo, observou-se as tensões e as correntes elétricas máxima presentes nos sensores. A figura 12 ilustra os resultados desse experimento. É possível observar, através da figura, que a chave S_1 encontra-se fechada e a chave S_2 aberta. Isso indica

que o sistema de geração fotovoltaica se encontra na etapa de carga da bateria, logo o módulo está fornecendo potência elétrica a bateria.

Figura 13 - Resultados da simulação de carga da bateria sob condições máximas.



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Através das pontas de prova disponíveis no *software Proteus*, é possível verificar as correntes elétricas e tensões em pontos específicos do circuito elétrico. A tensão no divisor de tensão responsável por coletar a informação acerca da tensão do módulo (R_1 e R_2) apresentou uma tensão de 3,29 V. A corrente fornecida para a bateria foi de 1,63 A e, por fim, a tensão correspondente a essa corrente foi de 2,64 V.

No processo de carga em condições extremas, foi possível observar que os valores de tensões que serão lidos pelo ESP8266 ficam dentro da faixa de valores nominais suportados pelo mesmo. A corrente de 1,63 A, no processo de carga da bateria, não é ideal, pois promove aquecimento desnecessário nos componentes internos da mesma, porém está distante dos valores máximos permitidos segundo manual técnico fornecido pelos fabricantes.

Nessa simulação, também foi observada a tensão no resistor R_{shunt_1} para verificar se o ganho dado pelo circuito do amplificador operacional estava correto. Como a tensão sobre o referido resistor foi de 0,163 V e a relação de ganho é, de acordo com os valores dos resistores R_{G2} e R_{F2} , de 16 vezes, pode-se afirmar que o comportamento está de acordo com o esperado com uma saída de 2,64 V.

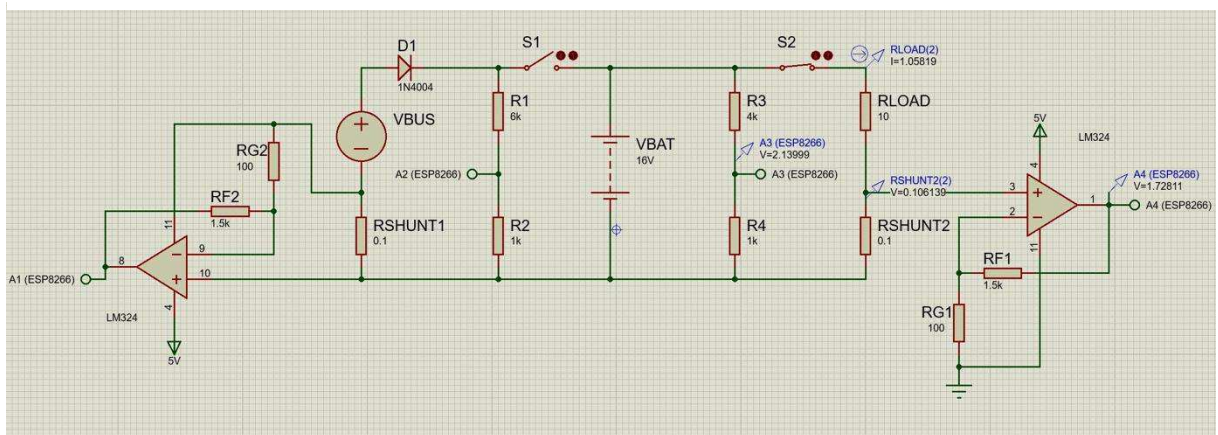
4.1.1 Descarga da Bateria por meio de Carga Resistiva

No processo de descarga da bateria por meio de uma carga resistiva de 10Ω, foi considerado que a bateria estaria com sua máxima tensão fisicamente possível,

isto é, segundo fabricantes, 16V. Isso foi feito para que fosse possível, mais uma vez, observar as correntes elétricas e as tensões máximas presentes nos sensores. A figura 13 ilustra os resultados desse experimento.

É possível observar, através da figura, que a chave S_1 encontra-se aberta e a chave S_2 fechada. Isso indica que o sistema de geração fotovoltaica se encontra na etapa de descarga da bateria, logo a bateria está fornecendo potência elétrica a carga resistiva.

Figura 14 - Resultados da simulação de carga da bateria sob condições máximas.



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Através das pontas de prova disponíveis no *software Proteus*, é possível verificar as correntes elétricas e tensões em pontos específicos do circuito elétrico. A tensão no divisor de tensão responsável por coletar a informação acerca da tensão da bateria (R_3 e R_4) apresentou uma tensão de 2,14 V. A corrente fornecida para a carga foi de 1,06 A e, por fim, a tensão correspondente a essa corrente foi de 1,73 V.

No processo de descarga em condições extremas, foi possível observar que os valores de tensões que serão lidos pelo ESP8266 ficam dentro da faixa de valores nominais suportados pelo mesmo.

Nessa simulação, também foi observada a tensão no resistor R_{shunt_2} para verificar se o ganho dado pelo circuito do amplificador operacional estava correto. Como a tensão sobre o referido resistor foi de 0,106 V e a relação de ganho é, de acordo com os valores dos resistores R_{G1} e R_{F1} , de 16 vezes, pode-se afirmar que o comportamento está de acordo com o esperado com uma saída de 1,73 V.

Note que a resistência interna da bateria possui efeito atenuador na intensidade da corrente elétrica fornecida pela mesma, logo pode ocorrer variações nos testes práticos. Porém, como o ganho do circuito do amplificador operacional está correto, mesmo que a corrente elétrica atinja uma intensidade de 2 A, corrente máxima

de acordo com fabricante, a tensão de saída para o microcontrolador não excederá a faixa de valores suportados pelo mesmo.

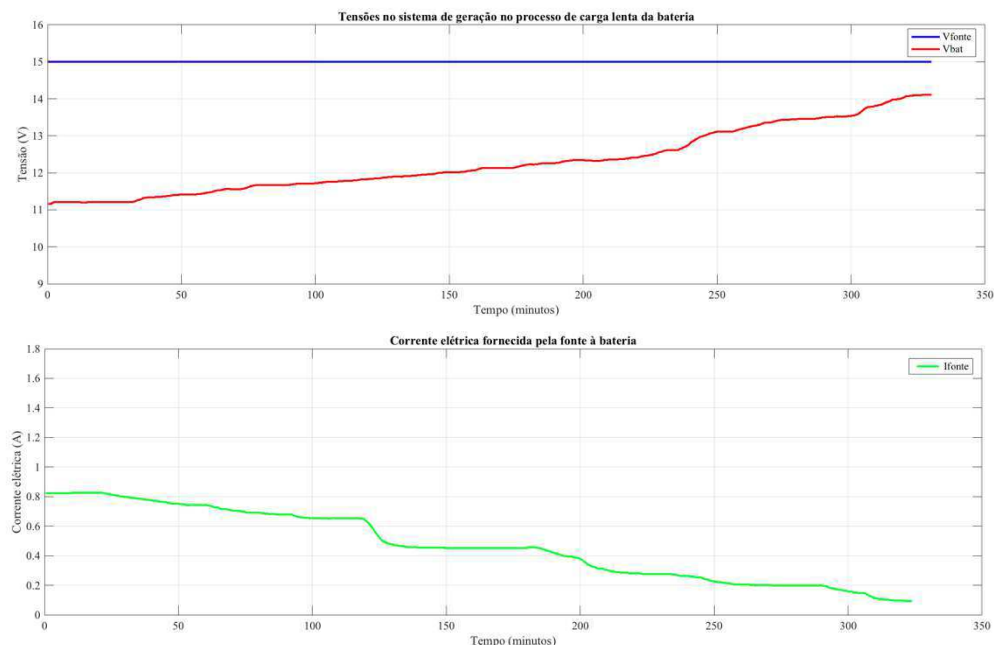
Sabendo da adequação dos valores de saída do circuito projetado, foi possível realizar os testes experimentais que serão apresentados a seguir.

4.2 CARGA DA BATERIA

Segundo Araújo (2017), o carregamento feito de forma lenta é o ideal para a bateria, pois apesar de demorar mais para carregar, há minimização do aquecimento e, em decorrência, menos gases são gerados no interior da mesma, aumentando a sua vida útil. O carregamento lento da bateria é caracterizado pelo valor de corrente entregue à bateria, que deve ser cerca de 10% da sua capacidade nominal.

Para maior controle do experimento, foi utilizado uma fonte de tensão de bancada a fim de fornecer para a bateria uma tensão constante de 15 V. A bateria estava bastante descarregada e a tensão em seus terminais era de 10,9V. Os dados foram importados do *ThingSpeak* para o *MATLAB* para melhor análise gráfica. A figura 14 ilustra o resultado do processo descrito acima.

Figura 15 - Carregamento lento de bateria sob tensão constante.



Fonte: Autoria Própria, 2019.

No primeiro gráfico é mostrada as tensões da fonte e da bateria. É possível notar que assim que a fonte de tensão constante é conectada à bateria a tensão em

seus terminais eleva em um pouco menos de 0,5 V. Sua tensão continua lentamente aumentando até o processo de carregamento finalizar com a tensão terminal da bateria em cerca de 14V. O processo durou cerca de 330 minutos.

No comportamento da tensão terminal da bateria, é importante notar que a partir dos 250 minutos, o carregamento passa a ser mais rápido em relação ao início do processo. Isso pode ser explicado com base na variação da resistência interna da bateria. A resistência interna de uma bateria tende a ser maior quanto a mesma encontra-se descarrega e vai diminuindo a medida que o elemento acumulador de carga carrega.

No segundo gráfico é ilustrado o comportamento da corrente fornecida à bateria pela fonte de tensão constante. O comportamento da corrente está de acordo com o esperado, já que essa começa com um valor relativamente baixo e, com o passar do tempo, vai decaindo até o carregamento completo da bateria. Isso, mais uma vez, é explicado através da resistência interna da bateria, que diminui à medida que o carregamento é realizado. Quanto menor a resistência elétrica interna da bateria, menos corrente é necessário para continuar o processo de carregamento da bateria. A corrente final, de acordo com o gráfico da corrente, quando a bateria está com 14V em seus terminais, é cerca de 0,15A.

No geral, o comportamento das grandezas elétricas capturadas por meio de sensores e análise do ESP8266, condiz com a realidade, e pode-se concluir que no processo de carregamento o sistema de monitoramento é viável e eficaz.

4.3 DESCARGA DA BATERIA

O experimento de descarga da bateria foi realizado quando a mesma possuía uma tensão de 14,2 V em seus terminais. Ela foi conectada à uma carga de 10Ω até que sua tensão estivesse nos limites informados pelos fabricantes, isto é, 10,5V.

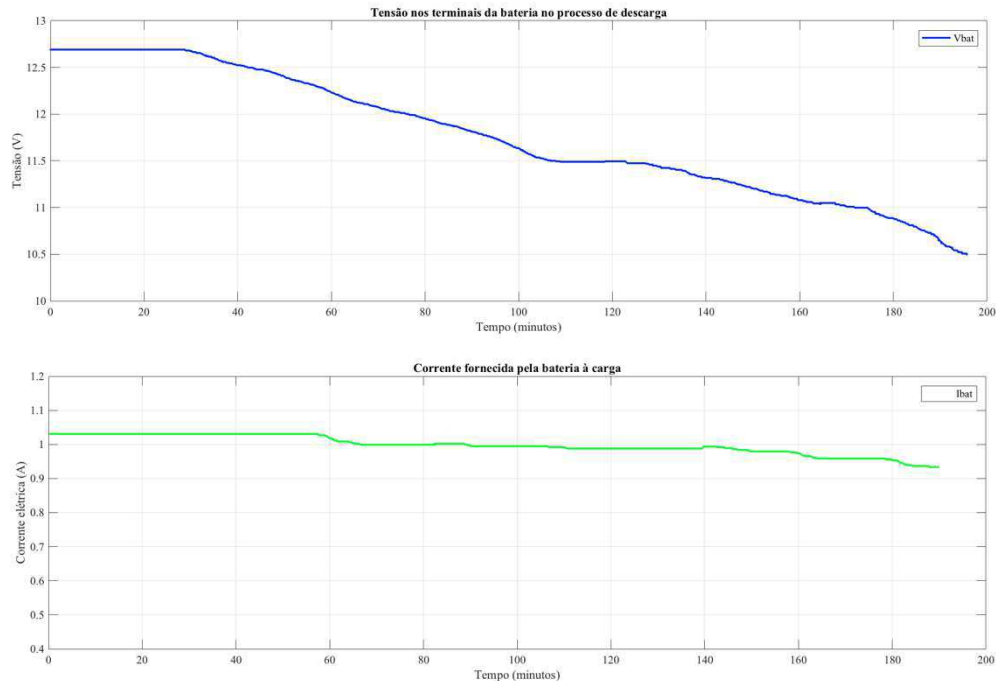
Os dados foram importados do *ThingSpeak* para o *MATLAB* para melhor análise gráfica. A figura 15 ilustra o resultado do processo descrito acima.

O primeiro gráfico ilustra a tensão da bateria ao longo do processo de descarregamento através do fornecimento de potência ativa para a carga. Já o segundo gráfico ilustra o comportamento da corrente fornecida pela bateria a carga.

Nota-se, pelo primeiro gráfico, que logo após conectar a bateria à carga, a sua tensão terminal cai abruptamente para 12,5 V aproximadamente. Então, durante o

processo de descarga, a sua tensão terminal decai, de maneira aproximada, linearmente até chegar no ponto de descarga total, ou seja, quando a tensão da bateria atinge 10,5V.

Figura 16 - Descarregamento da bateria com carga de 10Ω.



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Já no segundo gráfico, é possível observar o comportamento da corrente elétrica fornecida à carga pela bateria. Durante todo o processo de descarga a corrente fornecida é de, aproximadamente, 1 A. A pequena diminuição da corrente é, novamente, explicada pelo aumento da resistência interna da bateria ao longo do processo de descarga.

No geral, o comportamento das grandezas elétricas capturadas por meio de sensores e análise do ESP8266, condiz com a realidade, e pode-se concluir que no processo de descarregamento o sistema de monitoramento é, de fato, eficiente.

5 CONCLUSÃO

Ao longo do trabalho, foi visto que as necessidades energéticas humanas estão em constante evolução. A demanda por eletricidade, uma das principais formas de energia utilizada pelo ser humano, cresce progressivamente a patamares cada vez maiores, exigindo o desenvolvimento de novas soluções na área de geração de energia elétrica para que seja possível atender toda essa exigência. Como uma possível solução para os desafios de geração energética, há a utilização das fontes renováveis de energia como, por exemplo, a energia solar.

Os processos de geração mais utilizados em escala global são os processos cuja fonte energética são não renováveis e extremamente poluentes, diante disso, a utilização de sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica combate não só a problemática da demanda energética, mas também contribui com o desenvolvimento sustentável.

Como foi explanado, o processo de conversão da radiação solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico é limpo e renovável, porém o processo de produção dos componentes constituintes de um sistema de geração causa efeitos negativos ao meio ambiente, logo é importante que a utilização desses componentes vise o uso eficiente sob os parâmetros nominais do sistema para que o mesmo possua vida útil alongada.

Um método para atingir tal objetivo, é a implementação de sistemas de monitoramento remoto às unidades de geração fotovoltaica. Esse sistema de observação permite que o usuário acesse e controle o comportamento de um determinado sistema remotamente, desde que esse possua acesso a Internet. O monitoramento, de maneira geral, possibilita uma maior compreensão do comportamento das grandezas elétricas de um sistema e, conseqüentemente, torna possível a manipulação dessas variáveis ao gosto do usuário.

Diante desse contexto, o presente trabalho prestou-se a desenvolver um sistema de monitoramento remoto para um sistema de geração fotovoltaico autônomo, ou seja, possuem elementos acumuladores de carga. Esse sistema visou monitorar e controlar o processo de carga e descarga da bateria, almejando atingir níveis de eficiências adequados para os componentes do circuito elétrico, aumentando a vida útil dos mesmos. Além disso, o trabalho almeja contribuir com o debate científico acerca da temática em tornando o método um pouco mais conhecido e ajudando a

fortalecer a parcela da ciência pedagógica que trata das questões referenciadas no texto.

De maneira geral, pode-se afirmar que os objetivos foram alcançados e a implementação se deu através do microcontrolador ESP8266 e da plataforma online *ThingSpeak*. Durante o desenvolvimento do protótipo, devido a dificuldade de encontrar o material necessário, houveram diversas simplificações do projeto inicial, porém, por meio de softwares de simulação e utilização de componentes de comportamento elétrico similares foi possível contornar essa dificuldade.

Os resultados obtidos durante os testes realizados condisseram com o comportamento esperado, respaldado na fundamentação teórica sobre o assunto.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se realizar o aperfeiçoamento do protótipo desenvolvido no presente estudo. Poucos testes foram realizados, então não foi possível determinar as implicações do sistema de monitoramento ao longo prazo. Outro ponto importante em sistemas de monitoramento, é a análise estatística em cima dos dados coletados, com o poder computacional proporcionado pela integração da plataforma *ThingSpeak* com o MATLAB, essa melhoria seria de fácil desenvolvimento. Na visão do autor, o ponto mais importante para a melhoria do protótipo em questão é a implementação de um sistema de controle integrado ao de monitoramento. Para realizar controle do sistema de geração basta realizar poucas mudanças no circuito elétrico e no código do microcontrolador. Tarefas como ativação e desativação remota pelo usuário, controle de carga e descarga da bateria, entre outros, proporcionaram ao protótipo uma abrangência maior em suas possíveis aplicações.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D. N. **Sistema de monitoramento de baterias carregadas por painéis solares**. Campina Grande, PB, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Campina Grande.
- BARROS, R.; SAUAIA, R.; KOLOSZUK, R. Perspectivas para a geração centralizada solar fotovoltaica no Brasil. **Revista O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 50, mai. 2019.
- BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é: o que não é**. Petrópolis: Vozes, 2012.
- BRAGA, N. C. Medidor de umidade relativa. **Saber Eletrônica**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 41-4, 1996.
- BRAGA, R. P. Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro, RJ, 2008. Apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- DALLY, J. W.; WILLIAM, F. R.; McCONNELL, K. G. **Instrumentation for engineering measurements**. 2 ed. New York: John Wiley, 1993.
- FARIAS, L. M.; SELLITO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, Nova Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jun. 2011.
- GUIMARÃES, O. M.; KUWABARA, I. H. **Calorias: a energia contida nos alimentos**. Curitiba, PR, 2011. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná.
- HÉMERY, D.; BEBIER, J. C.; DELÉAGE, J. P. **Uma história da energia**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993.
- INSTRUMENTS, T. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**, 2016. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>. Acesso em: Jul. 2019.
- MARCHESAN, M. Sistema de monitoramento residencial utilizando a plataforma Arduino. Santa Maria, RS, 2012. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria.
- MARTINS, N. A. **Sistemas microcontrolados: uma abordagem com o microcontrolador PIC 16F84**. São Paulo: Novatec, 2005.
- MAUREIRA, M. A.; OLDENHOF, D.; TEERNSTRA, L. **ThingSpeak - an API and web service for the Internet of Things**, 2014. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/5dcd/7d5c5a6e30aa5fa3bc2fbcfb2caa5d2e0798.pdf?_ga=2.126765581.100426419.1562357993-438632013.1561870951>. Acesso em: jul. 2019.
- MOTA, J. O.; LOPES, C. B.; SILVA, W. L. S.; ALMEIDA, T. M. P. **Sistema de armazenamento de energia solar com controle microprocessado para**

dispositivos eletrônicos, 2012. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/4481/2578>>. Acesso em: jul. 2019.

PASHA, S. *Thingspeak Based Sensing and Monitoring System for IoT with Matlab Analysis*. **International Journal of New Technology and Research (IJNTR)**, v. 2, n. 6, p. 19-23, 2016.

SANTOS, E. M. S. A relação do homem com o processamento de energia e seu consumo. **Inc. Soc.**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 103-113, dez. 2018.

SEMING, Pete; WELLS, Collin. **A Current Sensing Tutorial**, 2012. Disponível em: <https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1279415#>. Acesso em: Jul. 2019.

SILVA, D. F. **Sistema de comunicação Bluetooth utilizando microcontrolador**. Recife, PE, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Pernambuco.

SILVA, K. O. S.; MORAES, S. O.; MIRANDA, J. H.; PALMIERI, A. M. Sistema automatizado para aquisição de dados de umidade relativa do ar. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 630-638, dez. 2007.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**, 1 ed. São Paulo: Érica Saraiva, 2012.