



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica
Departamento de Engenharia Elétrica

Danielly Norberto Araujo

Sistema de Monitoramento de Baterias Carregadas por Painéis Solares

Campina Grande - PB

Setembro de 2017

Danielly Norberto Araujo

Sistema de Monitoramento de Baterias Carregadas por Painéis Solares

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação de Curso de Graduação de En-
genharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Ba-
charel em Ciências no Domínio da Engenha-
ria Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador: Edmar Candeia Gurjão

Campina Grande - PB

Setembro de 2017

Danielly Norberto Araujo

Sistema de Monitoramento de Baterias Carregadas por Painéis Solares

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação de Curso de Graduação de 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.

Trabalho aprovado em: Campina Grande - PB, / /

Jalberth Fernandes de Araújo,
UFCG
Professor Avaliador

Edmar Candeia Gurjão, UFCG
Professor Orientador

Campina Grande - PB
Setembro de 2017

Dedico este trabalho aos meus pais, Roze e Tatá, e ao meu irmão, Léo, que sempre estiveram e sempre estarão ao meu lado.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter me dado forças para chegar até aqui e por nunca ter desistido de mim.

Agradeço aos meus pais, Roze Mary e Francisco Cledimar, que são as pessoas mais importantes da minha vida e que mesmo com todas as dificuldades não mediram esforços para educar a mim e ao meu irmão. Além disso, agradeço também a eles por todo apoio, por cada conselho e puxão de orelha e por não me deixarem esquecer que eu sempre vou ter eles, independente do que aconteça.

Agradeço ao meu irmão Léo pelo companheirismo desses 22 anos e que mesmo ele não falando eu sei que me ama, me admira e tem orgulho de mim.

Agradeço ao Lucas Vinícios, que além de namorado, foi amigo, companheiro e porto seguro nesses últimos 3 anos. Muita gratidão e amor por ele que segurou a minha mão e enxugou as minhas lágrimas inúmeras vezes.

Agradeço à família da minha mãe, em especial aos meus avós, Albertina e José Soares, por serem meu abrigo e refúgio, às tias Rosa, Solange e Ana Cleide, por toda força e aos primos Alan, Camila e Aline por serem tão essenciais na minha vida.

Agradeço à família do meu pai por sempre torcerem por mim, em especial à Biriú, aos tios João, Edmar e Airton, aos meus padrinhos, Adalto, Marlene e Tereza, aos primos Kelly, Edson e Joseany e aos meus avós José de Araújo e Maria.

Agradeço também a todos os professores que tive a oportunidade de ter, em especial ao professor Edmar Candeia, por ter me orientado nesse trabalho e ter me inspirado a ser uma aluna, engenheira e pessoa melhor por tantas vezes, e à professora Sueli do SESI 329 por tantos aprendizados e por ter sido a melhor professora da minha vida.

Agradeço aos amigos que foram essenciais nessa caminhada, e em especial, a amiga, Giovana, que passou de colega de sala a amiga e nunca me deixou sozinha, ao meu magnífico amigo Alexandre, que tanto me fez companhia durante o TCC, ao mito Arthur Francisco e às amigas, Laninha, Nyzy, Bia e Natana por toda amizade, ajuda e paciência.

Agradeço ao Pedro, Paulo Márcio, Walber e Edmar Júnior pelo grande suporte durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos funcionários Tchai, Adail, Zé e ao professor Damásio pela amizade e apoio durante esses anos e por sempre atenderem os alunos da melhor maneira possível.

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

“Por hoje é só
Vou deixar passar a tempestade
Talvez amanhã
Água pura e toda verdade”.

Duca Leindecker

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para sistemas fotovoltaicos autônomos, além do desenvolvimento de um sistema de monitoramento e de gestão de baterias utilizadas nesse tipo de aplicação. O trabalho, inicialmente, apresenta uma revisão bibliográfica sobre os temas relevantes para a elaboração do sistema, ou seja, sobre geração distribuída, energia solar fotovoltaica e baterias, e, logo em seguida, aprofunda sobre o tema propriamente dito, descrevendo o sistema proposto e como os procedimentos experimentais foram realizados. A última parte deste trabalho mostra que o sistema é capaz de garantir a coleta dos parâmetros que interferem na vida útil da bateria e do módulo fotovoltaico, o monitoramento e a gestão do sistema, além de comparar o preço total gasto com os componentes eletrônicos comprados e os circuitos implementados com aquele que poderia ter sido gasto, caso fosse escolhido sensores comerciais para a aplicação.

Palavras-chave: Bateria, Sistema, Monitoramento.

Abstract

This work aims to develop a data acquisition system for an autonomous photovoltaic systems, as well as to develop a monitoring and management system for batteries used in those applications. The work, initially, presents a literature review on the relevant topics to develop the system itself, that is, on distributed generation, photovoltaic solar energy and batteries, and, soon after, It seeps into the subject itself, describes the proposed system and how the experimental procedures were performed. The last instance of this work shows the system and its capacity to guarantee the data acquirement of the parameters that interfere in the battery and PV module life, the monitoring and the management of the system. At last, it compares the total price of the expense with the purchased electronic components and the circuits implemented in the work with the one that could have been spent if commercial sensors were chosen for the application.

Keywords: Battery, System, Monitoring.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Comparação entre as fontes de reservas de energia não-renovável e renovável (terawatt/ano).	19
Figura 2 – Composição do espectro da radiação solar.	20
Figura 3 – Efeito fotovoltaico e efeito fotoelétrico.	20
Figura 4 – Inclinação da Terra.	21
Figura 5 – Declinação solar e as estações do ano.	22
Figura 6 – Relação entre o ângulo de incidência e a massa de ar.	23
Figura 7 – Gráfico característico da irradiação solar ao longo do dia.	25
Figura 8 – Estrutura de uma célula fotovoltaica.	25
Figura 9 – Funcionamento de uma célula fotovoltaica.	27
Figura 10 – Conexão de células fotovoltaicas em série.	27
Figura 11 – Composição de um módulo fotovoltaico.	28
Figura 12 – Curva característica $I - V$ de um módulo fotovoltaico.	29
Figura 13 – Curva característica $P - V$ de um módulo fotovoltaico.	29
Figura 14 – Variação da tensão e da corrente de acordo com a irradiância.	30
Figura 15 – Variação da tensão de acordo com a temperatura.	30
Figura 16 – Componentes de um sistema fotovoltaico autônomo de uma residência.	31
Figura 17 – Componentes de um sistema fotovoltaico de uma residência conectado à rede elétrica.	32
Figura 18 – Partes constituintes de uma bateria de chumbo-ácido.	34
Figura 19 – Desgaste de uma bateria de chumbo-ácido em função da profundidade da descarga.	35
Figura 20 – Efeito da temperatura na vida útil da bateria de chumbo-ácido.	35
Figura 21 – Características dos métodos de carga.	37
Figura 22 – Curva de carga característica do método com tensão constante.	38
Figura 23 – Fases de carga com carregador ideal.	40
Figura 24 – Conexão do controlador de carga em um sistema fotovoltaico.	40
Figura 25 – Capacidade remanescente e tensão em circuito aberto.	41
Figura 26 – Estado de carga a partir da tensão de repouso.	42
Figura 27 – Características das curvas de descarga.	42
Figura 28 – Partes de um sistema DAQ.	45
Figura 29 – Arduino Ethernet encaixado no Arduino Mega 560.	46
Figura 30 – Diagrama do projeto.	47
Figura 31 – Bateria Green 12V 7SEG.	48
Figura 32 – Módulo fotovoltaico.	49

Figura 33 – Arduino Mega 2560.	50
Figura 34 – Módulo relé de 8 canais.	51
Figura 35 – Sensor de temperatura: LM 35.	52
Figura 36 – Pinos do LM35.	53
Figura 37 – Circuito divisor de tensão do módulo fotovoltaico.	54
Figura 38 – Circuito divisor de tensão da bateria.	54
Figura 39 – Sensor de corrente	55
Figura 40 – Circuito construído para detecção de corrente elétrica no projeto.	56
Figura 41 – Sistema utilizado para testes com o sensor de corrente ACS712.	58
Figura 42 – Circuito para medição de corrente.	59
Figura 43 – Esquema elétrico do circuito final.	60
Figura 44 – Carga.	61
Figura 45 – Circuito eletrônico final montado em protoboard e módulo relé.	62
Figura 46 – Fonte e bateria conectados - carga desconectada.	63
Figura 47 – Bateria e carga conectadas - fonte desconectada.	64
Figura 48 – Carga lenta.	66
Figura 49 – Carga rápida da Bateria.	67
Figura 50 – Descarga da Bateria.	68
Figura 51 – Ciclo de Carga-Descarga: Tensão nos terminais da bateria	69
Figura 52 – Ciclo de Carga-Descarga: Corrente fornecida pela fonte à bateria.	69
Figura 53 – Ciclo de Carga-Descarga: Corrente fornecida pela bateria à carga.	70

Lista de tabelas

Tabela 1 – Características de alguns tipos de baterias.	33
Tabela 2 – Sensores mais comuns	44

Lista de abreviaturas e siglas

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar
GD	Geração Distribuída
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Engenharia Elétrica
AM	Massa de Ar
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
STC	<i>Standard Test Conditions</i>
SLI	<i>Starting, Lighting and Ignition</i>
VRLA	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>
SOC	<i>State of Charge - Estado de Carga</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
DAQ	<i>Data acquisition</i>
A/D	<i>Analógico para Digital</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
CI	Circuito Integrado
LED	<i>Light Emitting Diode</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Organização do Trabalho	15
2	Fundamentação Teórica	16
2.1	Geração Distribuída	16
2.1.1	Geração Distribuída na Paraíba	18
2.2	Energia Solar Fotovoltaica	18
2.2.1	Energia Solar	18
2.2.2	Radiação Solar	19
2.2.3	Geometria Solar	21
2.2.4	Irradiância Solar	23
2.2.5	Células Fotovoltaicas	25
2.2.6	Módulo Fotovoltaico	27
2.2.7	Sistemas Fotovoltaicos	31
2.3	Baterias	32
2.3.1	Bateria de Chumbo-Ácido	34
2.3.2	Característica da Bateria Utilizada no Projeto	36
2.3.3	Terminologia	36
2.3.4	Carregamento da Bateria de Chumbo-Ácido	37
2.3.5	Controlador de Carga	39
2.3.6	Estado de Carga - SOC	41
3	SISTEMA DE MONITORAMENTO	43
3.1	Sistema de Aquisição de Dados	44
3.1.1	Arduino	45
4	MATERIAIS E MÉTODOS	47
4.1	Descrição do Sistema	47
4.2	Materiais Utilizados	48
4.2.1	Bateria Green - 12V 7SEG	48
4.2.2	Módulo Fotovoltaico - 20W	49
4.2.3	Arduino - Mega 2560	50
4.2.4	Modulo Relé	51
4.3	Condicionamento de Sinais	52
4.3.1	Temperatura	52
4.3.2	Tensão	54

4.3.3	Corrente	55
4.4	Calibração	56
5	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	58
6	RESULTADOS	65
6.1	Carga Lenta da Bateria	65
6.2	Carga Rápida da Bateria	66
6.3	Descarga da Bateria	67
6.4	Processo Carga-Descarga	68
6.5	Comparação de preços	70
6.5.1	Tensão	70
6.5.2	Corrente	70
6.5.3	Valor Total Economizado	71
7	CONCLUSÃO	72
	Conclusão	73
	Referências	74

1 INTRODUÇÃO

Fenômenos físicos são conhecidos desde a antiguidade. O filósofo grego Tales de Mileto observou que pedaços de palhas e fragmentos de madeira são atraídos pelo âmbar, resina vegetal fóssil petrificada, após o mesmo ter sido esfregado a um pedaço de pele de carneiro (lã) (ANJOS, 2017).

A partir disso, estudos e descobertas sobre a energia elétrica não pararam de serem feitos, a fazendo indispensável na vida do ser humano, pois, seja para o uso doméstico ou para realizar alguma tarefa noturna, ela é fundamental.

Com o passar dos anos e o crescimento das sociedades, essa dependência ficou ainda maior devido à energia elétrica dominar e impulsionar todos os setores, principalmente o industrial. Entretanto, com a atual conjuntura do aquecimento global e das limitações das fontes de energia, é crescente os estudos, esforços e investimentos no desenvolvimento de fontes alternativas de energia elétrica, entre as quais se pode citar a geração por meio de pequenas centrais hidrelétricas, marés, turbinas eólicas, painéis fotovoltaicos etc (MACHADO, 2010).

Cada fonte alternativa possui vantagens e desvantagens, porém atualmente, devido a vários fatores, como disponibilidade e abundância de luz solar, possibilidade de sistemas construídos em pequenos módulos e reduzido custo na produção, a energia elétrica produzida através de painéis fotovoltaicos tem se destacado.

No Brasil, em 2016, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR), a energia solar fotovoltaica teve um crescimento de 320% e estima-se que até 2030 vai corresponder a 10% da matriz energética.

No entanto, um dos pontos negativos dessa fonte é que, sendo o sol seu combustível, a produção de energia durante a noite não é possível, e, conseqüentemente, há a necessidade de um sistema para armazenar a energia produzida durante as horas que tem sol para o consumo nas horas que não tem.

Com isso, os estudos são crescentes sobre as baterias, seu funcionamento, os parâmetros que interferem em sua vida útil, qual a melhor maneira de carregá-la e como fazer seu monitoramento.

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados de baixo custo, além da gestão e do monitoramento dos parâmetros que interferem na vida útil das baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos.

1.1 Organização do Trabalho

O texto está organizado em 7 capítulos, incluindo este, da seguinte forma:

- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica, neste capítulo é apresentado os temas relevantes para o desenvolvimento do trabalho.
- Capítulo 3: Sistema de Monitoramento, é descrito o tipo e o funcionamento do sistema que será elaborado.
- Capítulo 4: Materiais e Métodos, descreve como o sistema de monitoramento de baterias foi desenvolvido, assim como os materiais e métodos utilizados.
- Capítulo 5: Procedimentos Experimentais, é mostrado o protótipo final do trabalho, além de como os testes foram realizados.
- Capítulo 6: Resultados, são apresentados e analisados os resultados e uma análise sobre o que poderia ter sido gasto com o sistema caso se tivesse escolhido comprar sensores é feita.
- Capítulo 7: Conclusão sobre o trabalho e possíveis trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

Para o desenvolvimento deste trabalho, o aprofundamento de alguns temas foi necessário, e desse modo será apresentada neste capítulo uma revisão bibliográfica sobre geração distribuída, energia solar fotovoltaica e baterias.

2.1 Geração Distribuída

A geração distribuída (GD) se opõe ao modo de geração de energia elétrica central que é baseado em grandes usinas localizadas distantes dos consumidores e pode ser definida como uma fonte de energia descentralizada, conectada diretamente ou próxima aos locais de consumo.

Os benefícios que esta modalidade de geração possui são inúmeros para os usuários e para o sistema de abastecimento de eletricidade. Além de proporcionar bem-estar e qualidade de vida com a introdução de fontes renováveis

GD tem baixo impacto ambiental e descentraliza a produção de energia, permitindo, desse modo, o não sobrecarregamento das linhas de transmissão e do sistema de distribuição e, ainda, reduz o investimento na construção de usinas, subestações e linhas de transmissão.

Além disso, as tecnologias de GD têm evoluído para incluir potências cada vez menores e empregar, por exemplo, geradores para emergência e para operação em horário de ponta, pequenas centrais hidrelétricas, painéis fotovoltaicos, parques de geração construídos em áreas abertas e pequenos geradores instalados em zonas urbanas, localizados em telhados de residências, empresas, escolas e centros comerciais, caracterizando, assim, microusinas e miniusinas.

Essas pequenas usinas são conectadas diretamente às redes de distribuição de baixa tensão, sem a necessidade de instalar transformadores ou linhas de transmissão de eletricidade. Além de fornecerem energia para o consumo local, por estarem conectadas ao sistema elétrico também contribuem para a geração de eletricidade de todo o país (VILLALVA, 2015).

O uso da geração distribuída com fontes alternativas de energia elétrica tem crescido em todo o mundo e também no Brasil. As energias solar fotovoltaica e eólica são as fontes alternativas com maior potencial para utilização na geração distribuída de eletricidade (VILLALVA, 2015).

No Brasil, desde quando entrou em vigor a Resolução Normativa nº 482/2012

definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o consumidor pode gerar a sua própria energia elétrica através de fontes renováveis ou cogeração qualificada e ainda pode fornecer o excedente para a concessionária, quando a quantidade de energia que ele gerar em um determinado mês for maior que a consumida naquele período. Desse modo, são gerados créditos que podem ser utilizados para abater o consumo e, conseqüentemente, descontar nas faturas nos meses seguintes.

Para melhorar as informações na fatura, aumentar o público alvo e reduzir os custos e o tempo para conexão da microgeração e minigeração, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015, revisando a Resolução Normativa nº 482/2010 (SCR, 2015).

As principais inovações da Resolução Normativa 687/2015, que entraram em vigor em 1º de março de 2016 são:

- É permitido o uso de qualquer fonte renovável;
- Denomina-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW);
- Denomina-se minigeração distribuída a central geradora com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes;
- Prazo de validade para utilização dos créditos passou a ser 60 meses;
- Os créditos podem ser utilizados para diminuir a fatura de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que a área seja a atendida pela mesma distribuidora;
- Possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios, sendo a energia gerada repartida entre os condôminos em porcentagem definida pelos próprios consumidores;
- Possibilidade de geração compartilhada, ou seja, um grupo de pessoas é responsável por uma unidade de geração;
- Possibilidade de existir a geração em uma unidade e o consumo em outra de mesmo titular;

Além das inovações da Resolução, o Ministério de Minas e Energia, com o objetivo de ampliar e aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores, lançou, em dezembro de 2015, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) que possui R\$ 100 bilhões em investimentos e

previsão de que até 2030, 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas, entre residências, comércios, indústrias e setor agrícola, o que pode resultar em uma geração de energia equivalente a metade da geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

Até janeiro de 2017, segundo a ANEEL, foram registradas mais de 7,6 mil conexões de geração distribuída no Brasil, onde 5.997 conexões foram em residências e 1.186 foram no comércio, totalizando uma potência instalada de 73.569 kW. Entre as energias renováveis mais utilizadas, a que mais se destaca é fonte solar fotovoltaica, com 7.528 adesões.

2.1.1 Geração Distribuída na Paraíba

Os incentivos para a geração descentralizada na Paraíba são crescentes. Em 2016, o Governo da Paraíba sancionou a Lei nº 10.718 e a Lei nº 10.720 que exigem e incentivam a instalação de sistemas de geração de energia distribuída em novas edificações. E juntamente com a população de mais 21 estados, a população paraibana está isenta de impostos na microgeração.

Além disso, o governo assinou um acordo de cooperação com o Banco do Nordeste do Brasil, com vigência de 5 anos, para viabilizar o uso de sistemas solares fotovoltaicos na agricultura familiar no Estado, garantindo a instalação de 90 *kits* de energia solar na Paraíba para irrigação da produção de alimentos, principalmente olerícolas e frutíferas.

Em relação aos critérios para a conexão de acessantes de geração distribuída ao sistema, a concessionária distribuidora de energia no Estado, a Energisa, possui as Normas de Distribuição Unificada 013 e a 015 para as conexões de baixa tensão e média tensão, respectivamente. O objetivo dessas normas é estabelecer critérios e procedimentos técnicos exigidos pelas empresas do Grupo Energisa para a conexão de consumidores atendidos em baixa e média tensão que façam a adesão ao sistema de compensação de energia, em conformidade com as recomendações regulatórias existentes para o assunto no setor elétrico nacional.

2.2 Energia Solar Fotovoltaica

2.2.1 Energia Solar

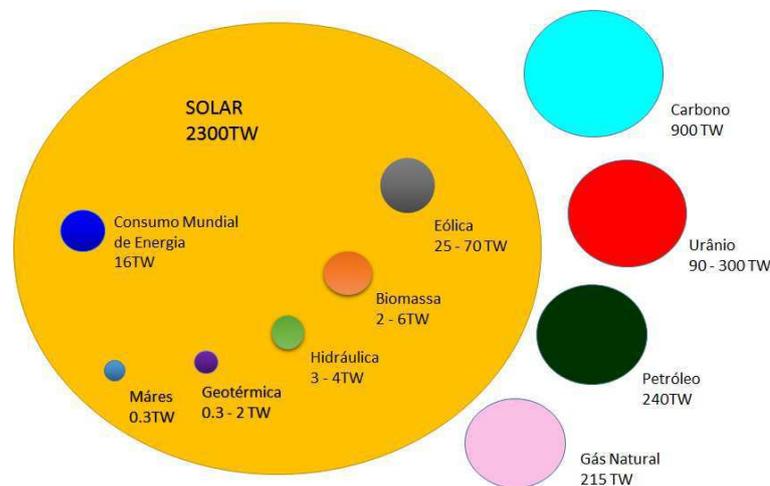
Atualmente, com o aumento do consumo e da dependência mundial da geração de energia por fontes não renováveis, a busca por sistemas alternativos de energia elétrica tem crescido consideravelmente.

Como mostrado na Figura 1, anualmente, cerca de 2.300 TW de energia solar, sob a forma de radiação, chega ao planeta, o que indica que, além de ser responsável pela

manutenção da vida na Terra, o Sol representa uma abundante fonte energética, que por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energia possui grande potencial de utilização. Uma das possíveis formas de conversão de energia solar se dá através do efeito fotovoltaico.

Desse modo, a fonte alternativa que mais tem se destacado por suprir a demanda de energia elétrica com grandes vantagens é a energia solar fotovoltaica, pois sendo o Sol a sua fonte, a mesma é considerada a mais abundante e democrática fonte de energia do mundo, pois além de estar disponível em todo lugar, em uma hora o Sol envia para Terra, energia suficiente para atender o consumo humano de eletricidade durante um ano inteiro.

Figura 1 – Comparação entre as fontes de reservas de energia não-renovável e renovável (terawatt/ano).



Fonte: Adaptado de MCCLENAHAN, 2008.

2.2.2 Radiação Solar

A energia solar é produzida pelas reações nucleares que acontecem no interior do sol a grandes profundidades. Em uma dessas reações os átomos de hidrogênio se combinam formando átomos de hélio, e liberam energia. Esta energia se propaga do interior do sol até a sua superfície (chamada de fotosfera), e daí é irradiada em todas as direções (SOUZA, 2016).

Essa energia irradiada chega à Terra vinda do espaço através das partículas de energia chamadas de fótons. Os fótons se deslocam a uma velocidade cerca de 300.000 km/s, por isso demoram cerca de 8 minutos para chegar à Terra, que está a aproximadamente 150 milhões de quilômetros do sol (SOUZA, 2016).

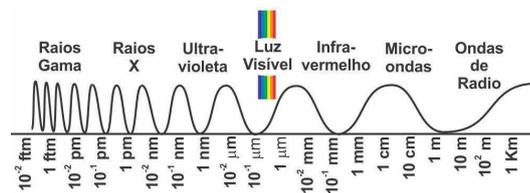
As partículas de energia são transmitidas através do espaço na forma de radiação eletromagnética. Essa radiação é constituída de ondas eletromagnéticas que possuem frequências e comprimentos de ondas diferentes. A frequência de uma onda está associada

a sua energia e é inversamente proporcional ao comprimento da onda, ou seja quanto maior a frequência da onda, maior a energia transmitida e menor o seu comprimento de onda.

O conjunto de todos os comprimentos de onda emitidas pelo Sol é chamado de espectro eletromagnético e o conjunto de todas as frequências de ondas eletromagnéticas é chamado de espectro da radiação solar, como é mostrado na Figura 2.

As ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol podem ser captadas na forma de calor ou de luz, porém elas produzem efeitos diferentes sobre os objetos e os seres vivos, em que uma pequena parte pode ser vista pelo o olho humano e a outra grande parte não pode ser vista, mas é percebida de outras formas.

Figura 2 – Composição do espectro da radiação solar.



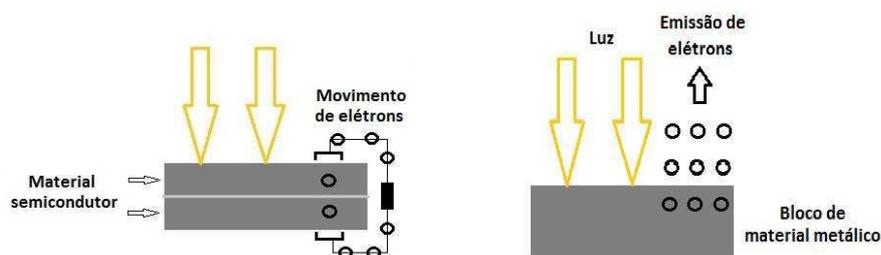
Fonte: FIGUEIREDO, 2012.

Ao incidirem sobre determinados materiais, as ondas eletromagnéticas, em vez de transmitir calor, podem produzir alterações nas propriedades elétricas ou originar tensões e correntes elétricas. Existem diversos efeitos elétricos da radiação eletromagnética sobre os corpos, sendo dois deles os efeitos fotovoltaico e o fotoelétrico (VILLALVA, 2015).

No efeito fotoelétrico, os elétrons de um material são liberados pela ação da radiação eletromagnética em uma determinada frequência. Ele ocorre em materiais metálicos e não metálicos sólidos, líquidos ou gasosos. Ver Figura 3.

O efeito fotovoltaico, é caracterizado pela produção de energia elétrica quando há incidência de radiação solar em uma célula formada por dois materiais semicondutores, produzindo assim uma diferença de potencial.

Figura 3 – Efeito fotovoltaico e efeito fotoelétrico.



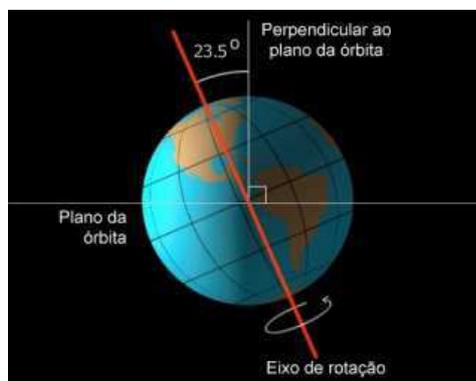
Fonte: Adaptado de VILLALVA, 2015.

2.2.3 Geometria Solar

A Terra se move em uma órbita elíptica em seu movimento de translação em torno do Sol e um trajeto completo tem duração de aproximadamente 365 dias e seis horas. Além disso, o planeta gira em torno de seu próprio eixo no movimento chamado rotação que dura 24 horas.

Como é mostrado na Figura 4, o eixo de rotação da Terra é levemente inclinado e forma um ângulo de $23,5^\circ$ com a normal ao plano da elipse da órbita da Terra. Esse ângulo é responsável por fazer com que os hemisférios fiquem mais próximos ou distantes do Sol em cada dia do ano e também pela duração do dia e da noite nas distintas estações do ano.

Figura 4 – Inclinação da Terra.



Fonte: Adaptado de VILLALVA, 2015.

Próximo à linha do equador as estações do ano não são muito bem definidas, pois a incidência da radiação solar durante o ano não varia muito. Porém, quanto mais se afasta do equador e mais se aproxima dos pólos norte e sul do planeta, mais influência tem o ângulo de inclinação sobre as estações do anos, deixando os dias mais longos no verão e curtos no inverno.

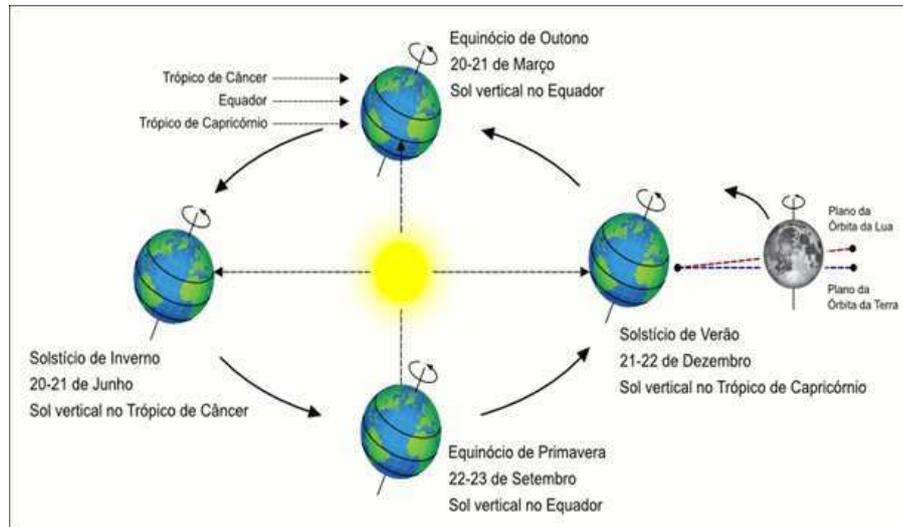
A posição angular do sol ao meio dia solar, em relação ao plano do equador é chamada de declinação solar (δ). A declinação varia de acordo com o dia do ano, com valores entre: $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$, sendo positivo ao Norte e negativo ao Sul (SOUZA, 2016).

Esse ângulo é consequência da inclinação do eixo de rotação da Terra e varia ao longo do ano de acordo com a posição do Sol (VILLALVA, 2015).

Nos solstícios, que marcam o início do verão e do inverno, o ângulo de declinação solar é máximo. Nos equinócios, que marcam o início do outono e da primavera, o ângulo de declinação é zero, o que significa que os raios solares incidem paralelamente ao plano do equador (VILLALVA, 2015).

Na Figura 5 é ilustrado o significado do ângulo de declinação solar. Observa-se as posições da Terra ao longo do ano e a variação do ângulo de declinação no mesmo período.

Figura 5 – Declinação solar e as estações do ano.



Fonte: MARTINO, 2016.

A seguir, são detalhadas as relações geométricas entre a superfície terrestres e os raios solares (SOUZA, 2016):

- Ângulo de Incidência (γ): é formado entre os raios solares e a normal à superfície de captação. Quanto menor esse ângulo, mais energia será captada.
- Ângulo Azimutal do Sol (a_s): é o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul.
- Altura Solar (α): ângulo entre os raios solares e sua projeção sobre um plano horizontal.
- Inclinação (β): ângulo entre o painel solar e o plano horizontal.
- Ângulo Horário do Sol ou Hora Angular (ω): é o deslocamento angular do sol, no sentido Leste-Oeste, à partir do meridiano local, devido ao movimento de rotação da Terra. A Terra dá uma volta completa (360°) em torno de si mesma em 24 horas. Portanto, cada hora corresponde a um deslocamento de 15° .
- Ângulo Zenital (θ_z): é o ângulo formado entre os raios solares e a vertical (Zênite). O ângulo zenital é o inverso da altura solar. O Sol só alcança o Zênite nas localidades entre os trópicos (zona tropical). Fora dos trópicos, em nenhuma localidade haverá, ao meio dia solar, ângulo zenital igual a zero.

2.2.4 Irradiância Solar

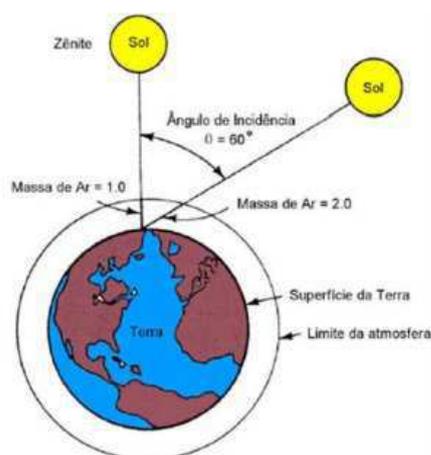
Irradiância solar é uma grandeza expressa na unidade de W/m^2 (watt por metro quadrado), ou seja, de potência por unidade de área, empregada para quantificar a radiação solar. A intensidade de irradiância que chega à Terra proveniente do Sol é em torno de $1.300 W/m^2$ acima da atmosfera, porém a máxima que chega ao solo terrestre é em torno de $1.000 W/m^2$.

Isso ocorre porque a radiação solar sofre diversas alterações até chegar à superfície terrestre, pois uma vez que atravessa o espaço, ela tem que cruzar a atmosfera para só então chegar ao solo, e como as características da radiação solar dependem da espessura da camada de ar e da composição da atmosfera, e esta é composta por diversos gases, poeira, vapor de água e etc, a energia incidente na estratosfera é reduzida em cerca de 70%.

Desse modo, a atmosfera age como um filtro, que bloqueia parte da energia, onde quanto mais espessa for a camada atmosférica, menor será a irradiância solar ao nível do solo.

A espessura da camada de ar atravessada pelos raios solares é medida através de um coeficiente chamado massa de ar (AM) e depende do comprimento do trajeto até o solo, sendo este dependente do ângulo zenital do Sol. Na Figura 6 é mostrado a relação entre o ângulo de incidência e a massa de ar.

Figura 6 – Relação entre o ângulo de incidência e a massa de ar.



Fonte: SOUZA, 2016.

A massa de ar influencia através dos efeitos de absorção e dispersão (Rayleigh e Mie), por isso, quanto mais elevado o Sol estiver no céu, menores serão os efeitos da camada atmosférica. É importante salientar que a poluição atmosférica potencializa esses efeitos de absorção e dispersão (SOUZA, 2016).

A relação entre o coeficiente AM e a altura solar e ângulo zenital é a seguinte:

$$AM = \left(\frac{1}{\cos\Theta_z} \right) \quad (2.1)$$

em que Θ_z é o ângulo zenital do Sol, conforme a Figura 6.

Com isso, pode-se concluir que a radiação é emitada pelo Sol em linha reta e é absorvida, espalhada e refletida pelas moléculas de ar, vapor, poeira e nuvens. Os tipos de radiação são:

- 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 zenital do Sol (VILLALVA, 2015);
- Radiação difusa: corresponde aos raios solares que chegam indiretamente ao plano. É resultado da difração na atmosfera e da reflexão da luz na poeira, nas nuvens e em outros objetos (VILLALVA, 2015);
- Radiação global: é a soma da radiação direta e da radiação difusa.

O instrumento que mede a radiação global é o piranômetro e que o mede a radiação direta é o pireliômetro. O piranômetro consiste em uma redoma de vidro que recebe luz em todas as direções e a concentra em um sensor de radiação solar instalado em seu interior. Já o pireliômetro é o composto por um sensor de radiação solar instalado dentro de um tubo com uma abertura de luz estreita, de modo que somente a luz direta possa alcançar o sensor.

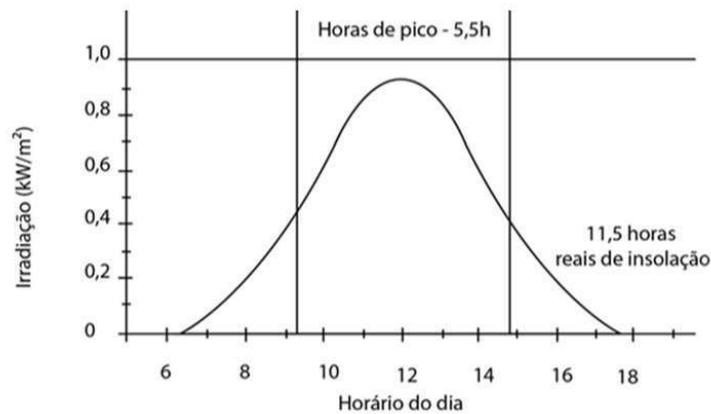
Medições de radiação solar também podem ser realizadas com sensores baseados em célula fotovoltaicas de silício. Esses sensores capturam uma faixa mais estreita do espectro solar e não conseguem distinguir a radiação direta da difusa, mas são suficientes para a maior parte das aplicações fotovoltaicas. São sensores de baixo custo que permitem avaliar o desempenho dos módulos fotovoltaicos (VILLALVA, 2015).

Os sensores de radiação solar fornecem medidas de irradiância e ao medir a irradiância ao longo de um dia, armazenando os valores obtidos, pode-se calcular a quantidade de radiação solar em uma determinada área naquele dia. O mesmo procedimento pode ser feito para calcular a radiação recebida ao longo de uma semana, um mês ou um ano.

Na Figura 7 é mostrado o gráfico característico da irradiância solar ao longo de um dia, cuja irradiância é próxima ou igual a 1.000 W/m^2 , em que calculando-se a área embaixo da curva, têm-se o valor da energia recebida pela Terra durante o dia por unidade de área, denominada insolação.

A irradiância de 1000 W/m^2 é adotada como padrão na indústria fotovoltaica para a especificação e avaliação de células e módulos fotovoltaicos (VILLALVA, 2015).

Figura 7 – Gráfico característico da irradiação solar ao longo do dia.



Fonte: SOUZA, 2016.

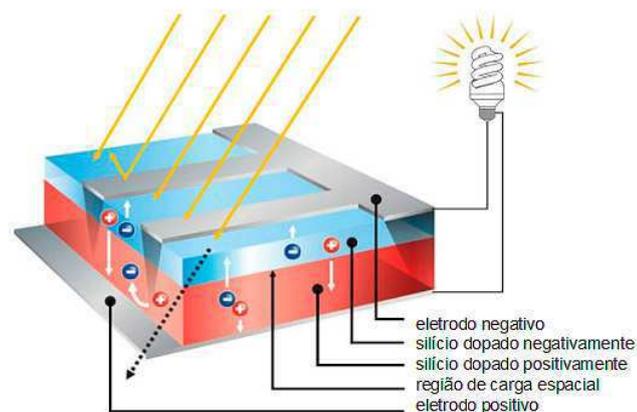
2.2.5 Células Fotovoltaicas

O efeito fotovoltaico é o fenômeno físico que ocorre quando a luz, ou a radiação eletromagnética do Sol, incide sobre um material ou dispositivo e há a conversão direta da luz em eletricidade.

Os dispositivos responsáveis pelo processo de conversão em sistemas fotovoltaicos são as células fotovoltaicas, que são compostas de materiais semicondutores com propriedades específicas que, através do efeito fotovoltaico, convertem radiação solar em energia elétrica.

Na Figura 8 é ilustrada a estrutura de uma célula fotovoltaica composta por duas camadas de material semicondutor, uma grade de coletores metálicos superior, ou seja eletrodo positivo, e uma base metálica inferior, eletrodo negativo.

Figura 8 – Estrutura de uma célula fotovoltaica.



Fonte: FOTOVOLTEC, 2016.

A grade e a base metálica inferior são os terminais elétricos que fazem a coleta da corrente elétrica produzida pela ação da luz. A base inferior é uma película de alumínio ou de prata. A parte superior da célula, que recebe a luz, precisa ser translúcida, portanto os contatos elétricos são construídos na forma de uma fina grade metálica impressa na célula (VILLALVA, 2015).

As células fotovoltaicas podem ser fabricadas com diversos materiais, mas o mais utilizado é o semicondutor silício cristalino, que através da adição de materiais dopantes ou impurezas tem suas propriedades de semicondutor modificadas.

Tipicamente, uma célula fotovoltaica é composta por uma camada fina de material tipo N, no qual os portadores majoritários são elétrons, e outra com maior espessura de material tipo P, que possui como portadores majoritários as lacunas. Assim, devido à diferença de concentração de elétrons nas duas camadas de materiais, os elétrons da camada N migram para a camada P, ocupando os espaços vazios das lacunas, formando desse modo o conjunto denominado junção semicondutora, ou ainda junção p-n.

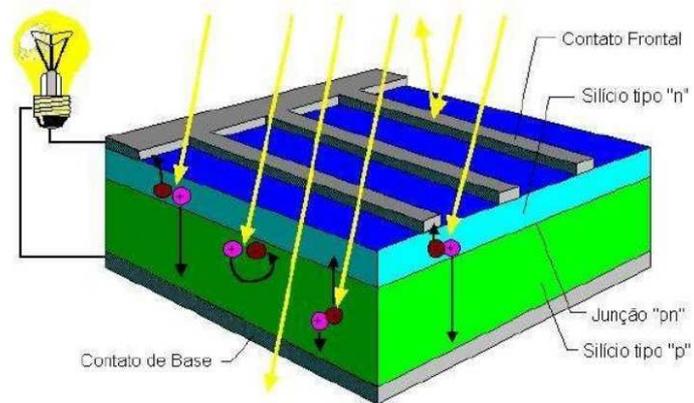
A mudança dos elétrons e lacunas de uma camada para outra origina um campo elétrico e cria uma barreira de potencial entre as duas camadas. Os elétrons e lacunas permanecem presos atrás dessa barreira quando a célula fotovoltaica não está iluminada (VILLALVA, 2015).

Desse modo, sabendo que a luz solar é formada por partículas de energia solar, ou melhor, por fótons, e que eles possuem uma quantidade de energia tal que, ao haver incidência de luz sobre uma célula fotovoltaica, os fótons podem ser refletidos, absorvidos ou até mesmo atravessar a células. Isso traz a necessidade de as células possuírem uma camada de material antirreflexivo para evitar a reflexão e aumentar a absorção de luz, já que somente os fótons absorvidos geram eletricidade.

Na Figura 9 a seguir pode ser vista a representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica. Nota-se que ao incidir luz sobre a célula, os fótons que integram o raio de luz chocam-se com os elétrons da estrutura de silício, dando-lhes energia suficiente para que eles entrem na banda de condução. Devido ao campo elétrico gerado na união p-n, os elétrons são orientados e fluem da camada P para a camada N, e, por meio de um condutor externo, conecta-se a camada negativa à positiva. Gera-se assim um fluxo de elétrons (corrente elétrica) na conexão e, enquanto a luz continuar a incidir na célula, o fluxo de elétrons se manterá. A intensidade da corrente gerada variará proporcionalmente conforme a intensidade da luz incidente (GOMES, ALVEZ, COSTA, 2017).

Se não houver um caminho elétrico entre as duas camadas, os elétrons livres não podem formar corrente elétrica. Entretanto, mesmo na ausência de corrente elétrica, percebe-se uma tensão elétrica de aproximadamente 0,6 V entre os dois lados da célula, causada pelo campo elétrico da barreira potencial (VILLALVA, 2015).

Figura 9 – Funcionamento de uma célula fotovoltaica.



Fonte: SOUZA, 2016.

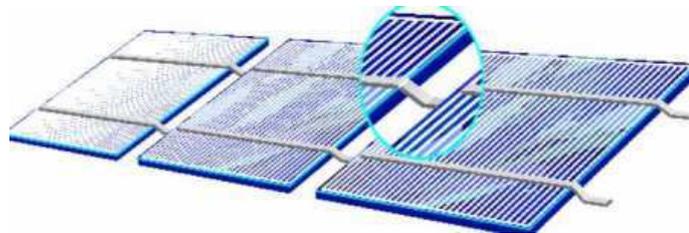
2.2.6 Módulo Fotovoltaico

Uma célula fotovoltaica produz pouca energia sozinha, apresentando uma tensão elétrica muito baixa, de aproximadamente 0,46 a 0,56 V, e uma corrente de 30 mA/cm². Entretanto ao conectar várias células fotovoltaicas entre si, uma grande quantidade de energia elétrica e uma tensão muito mais elevada pode ser fornecida.

Desse modo, o agrupamento de várias células fotovoltaicas produz painéis, placas ou módulos fotovoltaicos, ou seja, esses três termos tem o mesmo significado e são usados sem distinção para definir um conjunto de células fotovoltaicas.

Na Figura 10 é ilustrado como as células são normalmente conectadas em série, eletricamente, para se obter uma tensão maior. Os terminais superiores de uma célula são ligados ao inferior da outra até formar um conjunto com a tensão desejada.

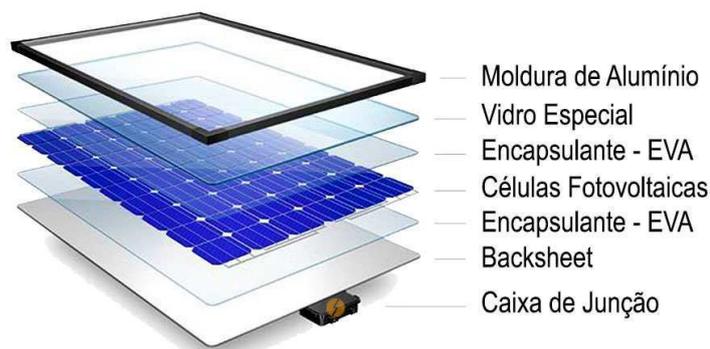
Figura 10 – Conexão de células fotovoltaicas em série.



Fonte: SOUZA, 2016.

O processo de montagem do módulo fotovoltaico pode ser feito de maneira automática, através de maquinário especializado, ou por manufatura, nos casos em que o processo de produção não permite uma alta produção em escala (SOUZA, 2016). Na Figura 11 é mostrado como é composto o módulo solar fotovoltaico.

Figura 11 – Composição de um módulo fotovoltaico.



Fonte: DUPONT, 2016.

Os módulos fotovoltaicos comerciais tem forma quadrada ou retangular. A espessura, sem a moldura, não costuma ultrapassar 4 cm. Não são muito pesados e, apesar da aparência rígida, suportam ligeiras deformações, adaptando-se a esforços mecânicos (SOUZA, 2016).

Como dito anteriormente, uma célula consegue fornecer uma tensão elétrica de até aproximadamente 0,6 V e para produzir uma tensão maior, os fabricantes conectam várias células em série, e assim, um módulo tem, dependendo de sua potência, 36, 54 ou mais células fotovoltaicas.

A corrente elétrica depende da área da célula, já que é diretamente proporcional a quantidade de luz incidente, assim quanto maior a captação de luz, maior será a corrente fornecida pela célula fotovoltaica.

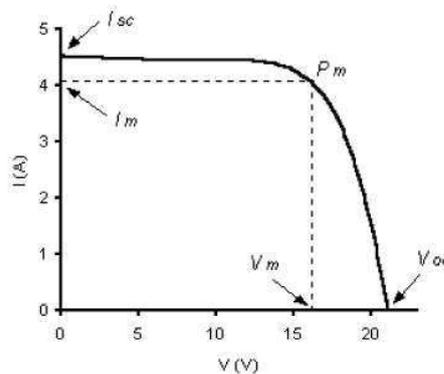
Deve-se atentar que o painel fotovoltaico não se comporta como uma fonte elétrica convencional, pois a tensão em seus terminais não é constante e depende de sua corrente. Além disso, o ponto de operação, ou seja, o valor da tensão e da corrente nos terminais do painel, depende do que está conectado a ele. Assim, a tensão de saída do módulo tenderá a cair caso seja conectado algum aparelho que demande muita corrente, e tenderá aumentar caso seja conectado uma carga que demande pouca corrente.

Na Figura 12 a seguir, é mostrada a curva $I - V$ que ilustra a relação entre a tensão e a corrente de saída de um painel fotovoltaico. Nota-se que há cinco pontos de destaque (SOUZA, 2016):

- Corrente de curto-circuito (I_{sc}): corrente máxima que o módulo fotovoltaico fornece, quando seus terminais estão em curto circuito, sob as condições padrão de teste.
- Corrente em máxima potência (I_m): corrente máxima que um módulo fotovoltaico pode fornecer a uma carga, em condições padrão de teste.

- Tensão em circuito aberto (V_{oc}): tensão máxima que o módulo fornece em seus terminais, sem a presença de uma carga (em vazio).
- Tensão de máxima potência (V_m): é a tensão máxima que o módulo gerará, em seu ponto de máxima potência, sob as condições padrão de teste.
- Potência máxima (P_m): a potência é o produto da tensão pela corrente, logo essa só será a máxima para uma única combinação de tensão e corrente. Um módulo fotovoltaico estará fornecendo a máxima potência, quando o circuito externo possuir uma resistência tal, que determine os valores máximos de tensão e corrente e, portanto o seu produto será o máximo.

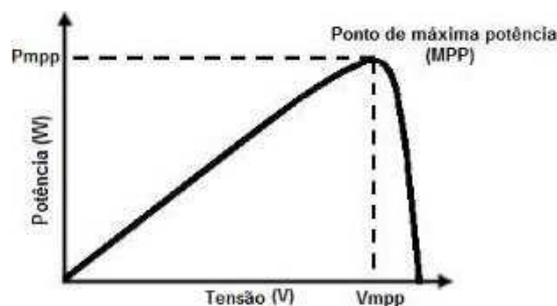
Figura 12 – Curva característica $I - V$ de um módulo fotovoltaico.



Fonte: GARCÍA, KRENZINGE, ALÉ, 2002.

Para cada curva $I - V$ existe uma curva $P - V$ correspondente, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Curva característica $P - V$ de um módulo fotovoltaico.



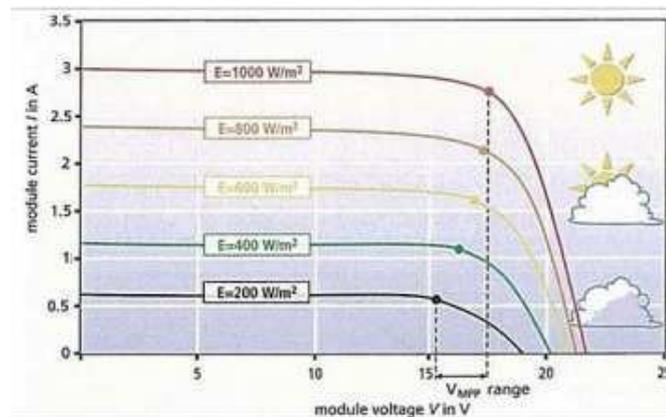
Fonte: GARCÍA, KRENZINGE, ALÉ, 2002.

Através de testes sob condições padronizadas, os fabricantes de painéis solares traçam curvas características para cada painel. Esse padrão é chamado de *Condições Padrão de Teste (STC - Standard Test Condition)* e as condições para testar o módulo fotovoltaico são produzidas e realizadas em laboratório, considerando valores padrão de

irradiância de 1000 W/m^2 , massa de ar de 1,5 e temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Desse modo, sob condições diferentes da padrão, a curva $I - V$, e conseqüentemente a curva $P - V$, será diferente daquela oferecida pelo fabricante.

Na Figura 14 é mostrado como a curva $I - V$ muda sob a influência da radiação solar. Isto é justificado pelo fato de a corrente elétrica em um módulo fotovoltaico depender diretamente da incidência de radiação solar, como já dito anteriormente, e por isso a corrente máxima fornecida pelo módulo varia proporcionalmente com a irradiância.

Figura 14 – Variação da tensão e da corrente de acordo com a irradiância.

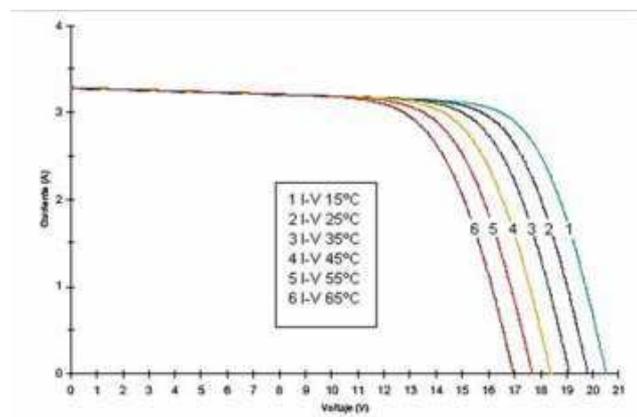


Fonte: SOUZA, 2016.

Deve ser observado que a tensão de circuito aberto não varia tanto como a corrente varia com a irradiação. Isso se deve ao fato de que quanto maior a irradiação, maior vai ser a quantidade de fótons e, conseqüentemente, maior a corrente.

Já em relação à temperatura, a corrente não sofre nenhuma alteração com a mudança da mesma, enquanto que, as tensões são maiores para temperaturas mais baixas e menores para temperaturas mais altas, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Variação da tensão de acordo com a temperatura.



Fonte: SOUZA, 2016.

2.2.7 Sistemas Fotovoltaicos

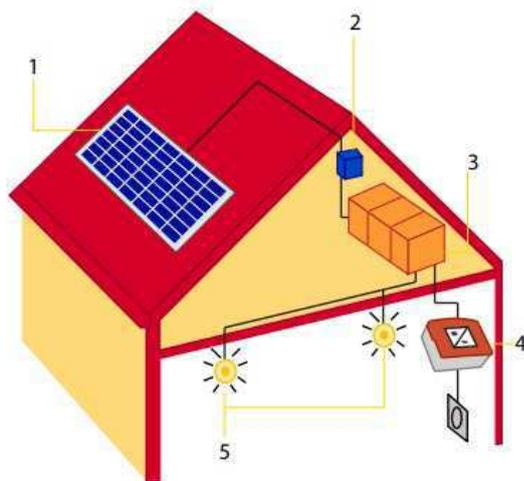
Um sistema fotovoltaico é um sistema capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar. Podem ser implantados em qualquer lugar que haja irradiância suficiente para que a conversão de energia seja realizada e são classificados de acordo a forma como é feita a geração ou a entrega de energia elétrica.

As formas mais usuais de classificação de sistemas fotovoltaicos, são:

- Sistema isolado: é aquele empregado em locais não conectados com a rede elétrica. É utilizado em praias, *campings*, residências em lugares remotos, ilhas ou em qualquer lugar não atendido por uma distribuidora de energia.

Como pode ser visto na Figura 16, os componentes de um sistema fotovoltaico autônomo instalado em uma residência, geralmente, são os seguintes:

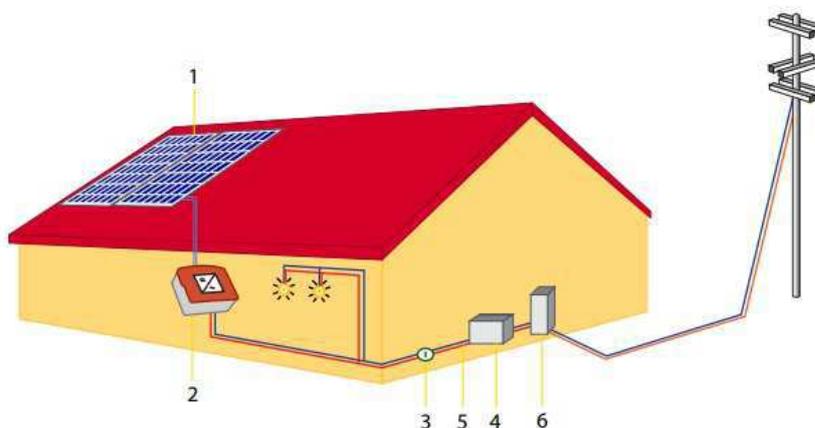
Figura 16 – Componentes de um sistema fotovoltaico autônomo de uma residência.



Fonte: SOUZA, 2016.

- 1 - Painel fotovoltaico;
 - 2 - Controlador de carga/descarga das baterias;
 - 3 - Banco de baterias;
 - 4 - Inversor autônomo, para cargas em corrente alternada (CA);
 - 5 - Cargas corrente contínua (CC) ou CA.
- Sistema conectados à rede: são aqueles empregados em locais que são conectado à rede elétrica, ou seja, opera paralelamente opera com a rede de eletricidade. Na Figura 17 podem ser vistos os principais componentes de um residência que possui um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.

Figura 17 – Componentes de um sistema fotovoltaico de uma residência conectado à rede elétrica.



Fonte: SOUZA, 2016.

- 1 - Módulos fotovoltaicos;
- 2 - Inversor;
- 3 - Interruptor de segurança;
- 4 - Quadro de luz;
- 5 - Eletricidade que alimenta os utensílios domésticos;
- 6 - Excedente que volta para rede elétrica através de um medidor.

2.3 Baterias

A bateria é um dispositivo eletroquímico que, de acordo com a configuração do seu circuito externo e as suas conseqüentes reações químicas internas, é capaz de armazenar ou fornecer energia (COELHO, 2001).

A utilização de baterias, em um sistema fotovoltaico autônomo, vem da necessidade de proporcionar ao consumidor um constante fornecimento de energia elétrica e para armazenar energia quando o que for gerado for maior que o consumido, evitando, assim, desperdício de energia.

As baterias podem ser divididas em dois grupos principais: não recarregáveis e recarregáveis. As mais utilizadas, em sistemas fotovoltaicos, são as baterias recarregáveis, pela sua capacidade de recarga, acumulação ou armazenamento de energia. As baterias não recarregáveis são dispensadas, pois só podem ser carregadas uma vez e quando descarregadas, devem ser descartadas.

Na Tabela 1, são comparados os tipos mais comuns de baterias recarregáveis em relação aos materiais ativos usados em sua construção. São destacadas as principais ca-

racterísticas e os parâmetros de funcionamento das mesmas.

Tabela 1 – Características de alguns tipos de baterias.

	Chumbo-ácido (Pb - ácido)	Níquel-cádmio (Ni-Cd)	Níquel-hidreto metálico (NiMH)	Íons de lítio
Custo inicial	Baixo	Médio	Médio	Baixo
Segurança	Boa	Boa	Boa	Boa
Eletrólito	H ₂ SO ₄	KOH	KOH	Polímeros orgânicos
Ciclos	250 - 500	300 - 700	300 - 600	400 - 600
Densidade de energia (Wh/Kg)	20 - 40	30 - 50	40 - 90	90 - 150
Densidade de energia volumétrica (Wh/m ³)	50 - 120	100 - 150	150 - 320	230 - 330
Eficiência (%)	80-90	60-70	80-90	90-95
Manutenção	Muito baixa	Alta	Alta	Baixa

Fonte: Adaptado de LUQUE, HEGEDUS, 2011.

Para analisar qual bateria vai ter o melhor desempenho para uma dada aplicação, é necessário entender os parâmetros da tabela acima. Logo:

- Eletrólito: material ou meio que tem a capacidade de conduzir eletricidade a partir da existência de íons livres na sua composição.
- Ciclos: número de sequências carga-descarga de uma bateria.
- Densidade de energia: quantidade de energia elétrica armazenada na bateria por unidade de massa.
- Densidade de energia volumétrica: quantidade de energia elétrica armazenada na bateria por metro cúbico de volume.

E ainda, deve-se atentar, segundo Vera (2009), nos seguintes requisitos para a escolha do tipo de bateria em sistemas fotovoltaicos:

- Baixo custo;

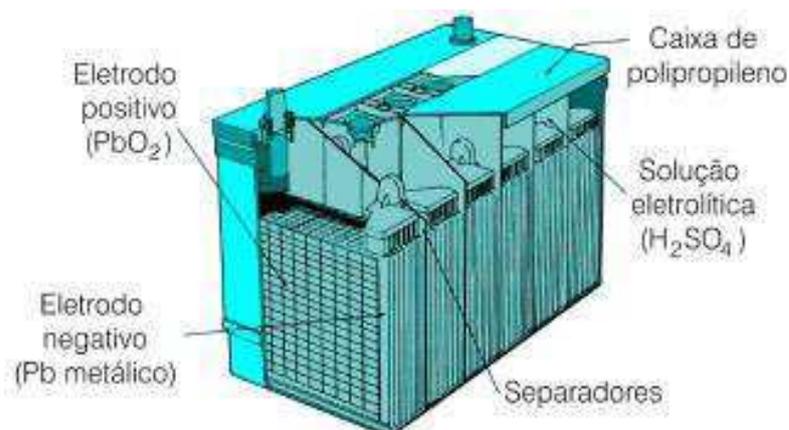
- Alta eficiência;
- Baixa descarga;
- Longo tempo de vida útil;
- Baixa manutenção;
- Operação simples.

Assim, de acordo com a Tabela 1 e os requisitos necessários para a escolha de uma bateria para sistemas fotovoltaicos, pode-se concluir que a melhor opção, entre vantagens e desvantagens, é a bateria de chumbo-ácido, pois apesar do inconveniente da baixa densidade de energia, ela possui os benefícios do baixo custo, utilização em diversas aplicações e fácil manutenção. Então, a partir de agora, o texto irá se referir apenas a esse tipo de bateria.

2.3.1 Bateria de Chumbo-Ácido

As baterias de chumbo-ácido são compostas por células eletroquímicas que podem fornecer uma tensão nominal de até 2,14 V se completamente carregadas. Cada célula é constituída por duas placas de materiais diferentes, porém ambas são imersas em uma solução de ácido sulfúrico e água que compõem o eletrólito. Na Figura 18 é ilustrada a bateria de chumbo-ácido e suas partes constituintes.

Figura 18 – Partes constituintes de uma bateria de chumbo-ácido.



Fonte: BOCCHI, FEERRACIN, BIAGGIO, 2000.

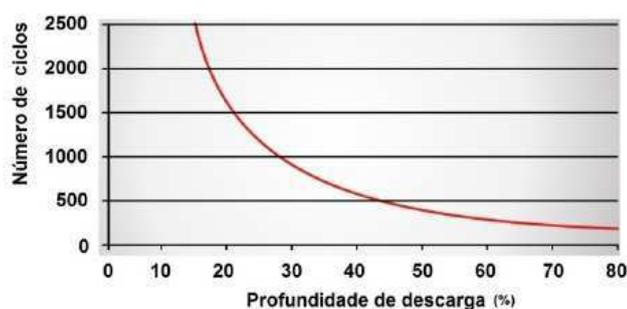
As placas são eletrodos de chumbo em formato de grade com a função de segurar a matéria ativa e conduzir a corrente elétrica. É a matéria ativa porosa que armazena a energia, com sua estrutura esponjosa fornecendo área de superfície para a reação eletroquímica (SOUZA, 2016).

Durante o processo de descarga, o dióxido de chumbo (PbO_2), o chumbo (Pb) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4) reagem formando sulfato de chumbo (PbSO_4) e água (H_2O), e no processo de carga a reação é revertida (PEIXOTO, 2012).

Um fator que deve ser observado é que esse processo de carga e descarga pode ser repetido diversas vezes, porém nesse tipo de bateria, o número de ciclos é inversamente proporcional com a profundidade da descarga, ou seja, quanto maior a profundidade da descarga, menor será o número de ciclos da bateria, como pode ser visto na Figura 19.

Além disso, a resistência interna da bateria tem efeito direto em vida útil da bateria, pois a mesma influencia em sua capacidade de descarga e varia de acordo com a carga, ou seja, é maior quando a bateria está descarregada, e diminui, a medida que a bateria é carregada.

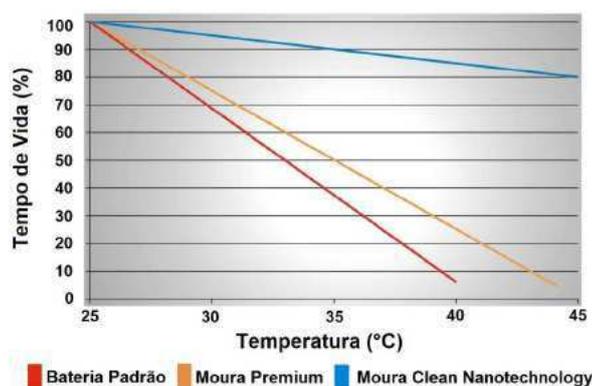
Figura 19 – Desgaste de uma bateria de chumbo-ácido em função da profundidade da descarga.



Fonte: PEIXOTO, 2012.

E ainda, um outro parâmetro que influencia na vida útil da bateria de chumbo-ácido é a temperatura, pois como é mostrado na Figura 20, a vida útil da bateria diminui quando opera em temperaturas elevadas.

Figura 20 – Efeito da temperatura na vida útil da bateria de chumbo-ácido.



Fonte: PEIXOTO, 2012.

2.3.2 Característica da Bateria Utilizada no Projeto

Além das baterias poderem ser classificadas pelos materiais ativos que a compõem, elas também podem ser classificadas de acordo com as suas características construtivas, e podem ser divididas em:

- Baterias SLI (*Starting, Lighting and Ignition*): trabalham em ciclos de curta duração, mas não permitem descarga profunda. Apesar do baixo custo, não são recomendadas para sistemas fotovoltaicos.
- Baterias de tração: operam em ciclos longos e descargas profundas. São recomendadas para sistemas fotovoltaicos autônomos.
- Baterias estacionárias: trabalham em ciclos mais curtos em relação à SLI, porém permitem descargas mais profundas. São utilizadas, mais comumente, em *no-breaks* para equipamentos ou sistemas em que não se pode ter interrupção de energia.

A partir das três classificações acima, derivam-se diversos tipos de baterias, cada uma desenvolvida para trabalhar em um dos três modos citados. A bateria estacionária selada de chumbo ácido regulada por válvula (VRLA) foi utilizada neste trabalho.

Essa bateria tem o eletrólito em seu interior, confinado por absorção em manta de microfibras de vidro (Tecnologia AGM) ou através de sua gelificação (Tecnologia Gel). Esse confinamento, aliado à característica física da bateria, possibilita que haja um processo de recombinação interna dos gases gerados no processo de operação, de modo que não haja perda dos elementos ativos, não necessitando, dessa forma, qualquer tipo de manutenção interna (RIBEIRO, 2015).

2.3.3 Terminologia

Alguns termos relacionados com baterias, além dos já citados, devem ser considerados na hora da sua escolha. São eles, segundo Bastos (2012):

- Material ativo: materiais presentes nas placas positivas e negativas, e no eletrólito das células, que atuam como os reagentes químicos da bateria.
- Capacidade: representa a capacidade que a bateria possui de armazenar e fornecer carga. É a medida de quanta corrente (amperes) uma bateria pode fornecer em um determinado tempo em horas. A capacidade de uma bateria também depende da taxa de descarga (corrente) e profundidade de descarga da mesma, assim como a tensão de corte, temperatura e histórico de ciclos da bateria.
- Tensão de corte: é o menor valor de tensão que uma bateria deve alcançar em operação.

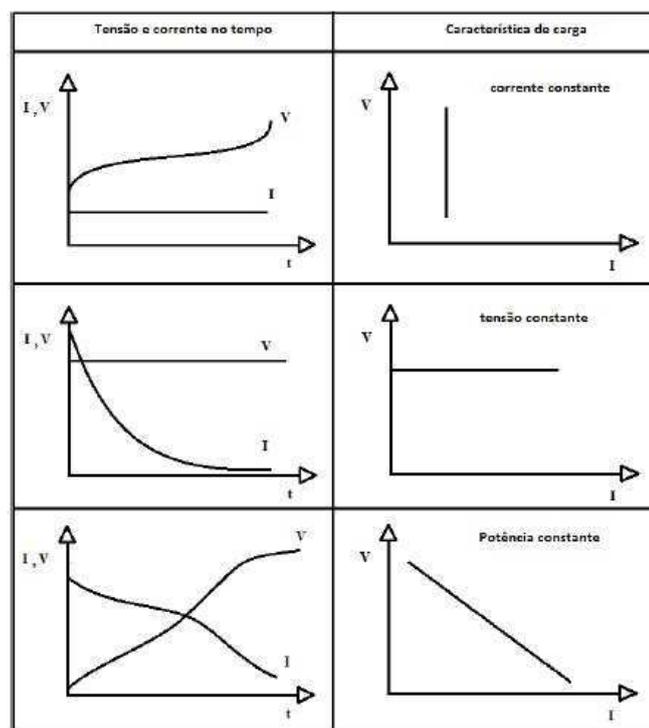
- Tensão de circuito aberto: é a tensão em uma bateria quando esta não está sendo carregada nem descarregada, e encontra-se em “repouso”.
- Tensão de flutuação: é a tensão que uma fonte externa poderá aplicar indefinidamente à bateria sem qualquer dano a esta. Se a bateria estiver totalmente carregada, ficará em estado de equilíbrio sem troca de corrente após uma pequena perda.
- Taxa de carga/descarga (C/n): define a corrente de carga ou descarga, porém de forma relacionada com a sua capacidade máxima. Na taxa de carga/descarga C/n, C é a capacidade máxima da bateria e n é o período de carga/descarga, em horas.

2.3.4 Carregamento da Bateria de Chumbo-Ácido

Sabe-se que a vida útil das baterias depende, também, da forma de como elas são carregadas. Desse modo dependendo do tipo e da aplicação em que ela será utilizada, é necessário, entre tantos métodos de carregamento, escolher um que seja melhor para a bateria em relação à eficácia e simplicidade de implementação.

Os métodos mais comuns de carregamento são: corrente constante, tensão constante, potência constante, corrente pulsada e métodos mistos que alternam entre os outros métodos em diferentes fases de carga. Na Figura 21 são apresentadas as características dos métodos de carga.

Figura 21 – Características dos métodos de carga.



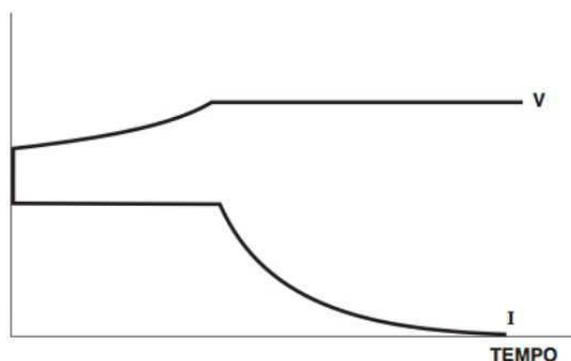
Fonte: BASTOS, 2012.

O método de corrente constante injeta uma corrente limitada na bateria, enquanto a tensão é gerenciada durante todo o processo para evitar sobrecarga. Esse método possui a vantagem na implementação pela facilidade, porém não é recomendável para baterias de chumbo-ácido, pois ao utilizar correntes elevadas na carga, a bateria que é muito sensível à sobrecarga, pode ser prejudicada, e ao utilizar correntes baixas, pode-se ter tempos de carga bastantes elevados.

Já o método de tensão constante mantém a tensão de carga constante, enquanto a corrente varia durante o carregamento. No início do processo, a corrente é alta e à medida que a carga da bateria aumenta, a corrente diminui, o que faz com que a finalização do carregamento seja muito lenta. A desvantagem desse método é a necessidade do monitoramento da temperatura para evitar aquecimento excessivo.

Na Figura 22 é ilustrada a curva de carga característica traçada quando o método com tensão constante é utilizado para o carregamento da bateria.

Figura 22 – Curva de carga característica do método com tensão constante.



Fonte: BASTOS, 2012.

Diferentemente do método anterior, no método de potência constante a potência injetada aumenta com o carregamento. Este método deve ser utilizado em pequenos intervalos de tempo e com o supervisionamento da temperatura. A desvantagem desse método é que as perdas ôhmicas são elevadas quando comparado com as perdas no método de tensão constante.

Nos métodos mistos, durante o processo de carregamento, é possível alternar dois ou mais métodos com o objetivo de utilizar as melhores características de cada um. O método misto mais utilizado é o método a dois níveis de tensão, que se baseia na união das características do método de tensão constante com o método de corrente constante.

Segundo Saad (2012), durante o carregamento de uma bateria de chumbo-ácido selada, partindo de um estado de carga baixa, ao utilizar o método a dois níveis de tensão, a carga completa da bateria, subdivide-se, basicamente, em três fases:

- Fase de corrente constante: é a primeira fase do ciclo de carga, onde a corrente é constante e a tensão aumenta, à medida que a bateria carrega, até um certo valor limite.
- Fase de tensão constante: segunda fase do ciclo, onde a tensão é mantida constante no valor limite e a corrente diminui com o aumento gradual da carga da bateria até aproximadamente $C/100$, indicando que a bateria está carregada.
- Fase de flutuação: nesta última fase, com a corrente da bateria atingindo um valor bem pequeno na fase anterior, a tensão é diminuída e mantida em uma tensão em faixa de valores aceitáveis.

2.3.5 Controlador de Carga

Segundo VILLALVA (2015), os sistemas fotovoltaicos com baterias devem obrigatoriamente empregar um controlador ou regulador de carga. O controlador de carga é o dispositivo que faz a correta conexão entre o painel fotovoltaico e a bateria, evitando que a bateria seja sobrecarregada ou descarregada.

Há controladores de vários tipos e os mais sofisticados possuem o recurso de rastreamento do ponto de máxima potência do módulo, possibilitando, desse modo, aumentar a eficiência do sistema fotovoltaico.

As funções mais importantes do controlador de carga são:

- Proteção de sobrecarga;
- Proteção de descarga excessiva;
- Gerenciamento do nível de carga da bateria;
- Controle da recarga do banco de baterias.

Desse modo, quanto mais “inteligente” for o controlador de carga, melhor será o funcionamento da bateria por um longo período de vida útil, pois o mesmo irá se adequar as tensões de carga, ao nível de carga, temperatura de operação, tipo e idade da bateria.

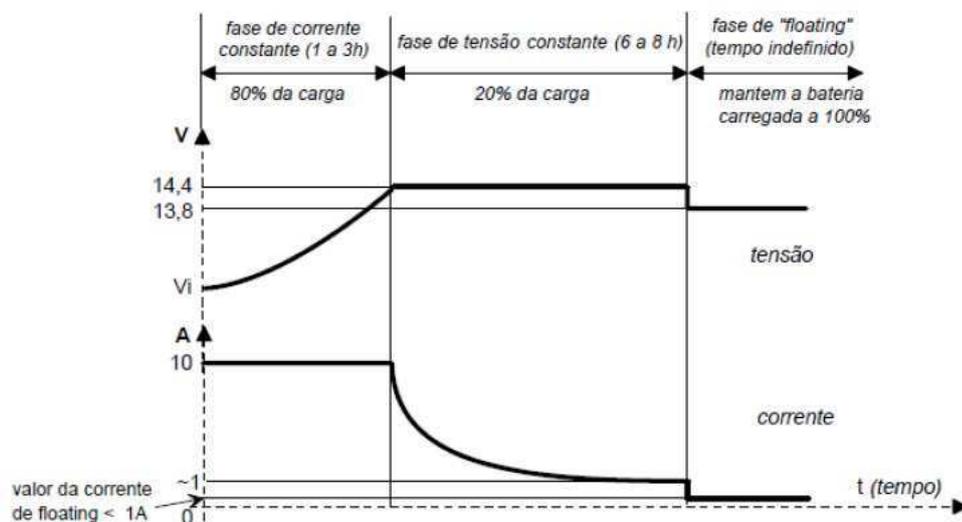
Na Figura 23 é mostrado o perfil do carregamento de uma bateria de chumbo-ácido com o método a dois níveis de tensão, durante as três fases citadas na seção anterior, quando ela está completamente descarregada e tem a ação do controlador de carga.

O papel do controlador de carga em cada uma das fases é:

- 1º fase: a corrente injetada na bateria é elevada ao maior valor máximo possível e é mantida constante pelo controlador de carga até a tensão da bateria atingir uma tensão limite, que nesse caso é 14,4V.

- 2º fase: essa fase inicia quando a tensão da bateria atinge 14,4V, e o papel do controlador de carga é manter a tensão constante, enquanto a corrente diminui bem lentamente com o aumento gradual da carga da bateria.
- 3º fase: quando a corrente atingir um valor bem pequeno na fase anterior, significa que a bateria está quase carregada, iniciando a última fase do carregamento da bateria. A função do controlador de carga nessa fase é manter a bateria carregada, controlando sua tensão na faixa compreendida entre 13,2 V e 13,8 V.

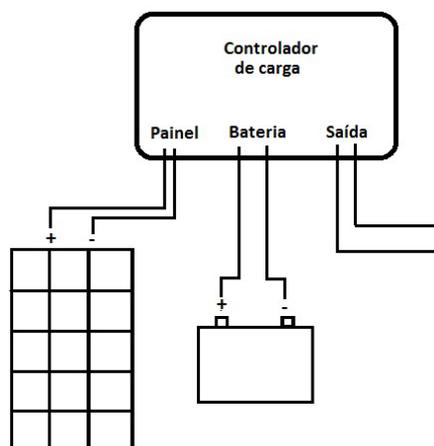
Figura 23 – Fases de carga com carregador ideal.



Fonte: BASTOS, 2012.

Em sistemas fotovoltaicos, o controlador de carga é conectado entre a bateria e o painel fotovoltaico, como pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 – Conexão do controlador de carga em um sistema fotovoltaico.



Fonte: Adaptado de VILLALVA, 2015.

Na prática, os controladores de carga, pela dificuldade da implementação, não realizam as três fases de carregamento da bateria na maior parte dos sistemas fotovoltaicos, e são utilizados apenas para fazer a conexão ou desconexão do painel e da carga para que não haja nenhum dano à bateria.

2.3.6 Estado de Carga - SOC

Um dos parâmetros mais difíceis de estimar e avaliar de uma bateria de chumbo-ácido é o estado de carga (SOC, do inglês, *State of Charge*). Ele é utilizado para informar a carga remanescente de uma bateria e deve ser estimado com a maior exatidão possível, já que através dele um maior nível de proteção pode ser oferecido e situações que coloquem a vida útil da bateria em risco podem ser evitadas.

Como a bateria é um dispositivo que armazena energia química, a qual não pode ser diretamente acessada, a estimação do estado de carga não é uma tarefa trivial de se realizar. A avaliação correta do SOC continua a ser muito complexa e é de difícil implementação, porque os modelos de bateria são limitados e existem sempre incertezas paramétricas. Desta forma, na prática, são encontrados muitos exemplos de estimação de SOC com baixa precisão e confiabilidade (FIGUEIRA, 2014).

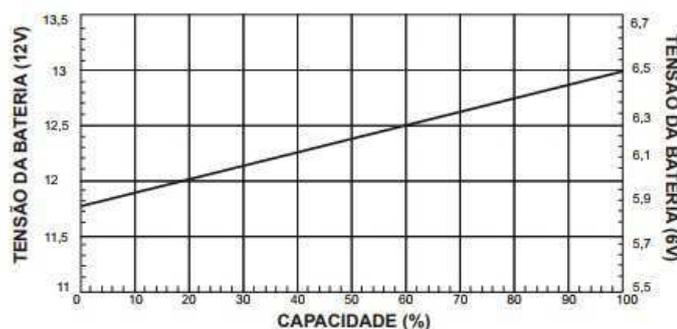
Em geral, o estado da carga da bateria é definido pela Equação 2.2:

$$SOC(\%) = \frac{Q(t)}{C(t)} * 100 \quad (2.2)$$

em que $Q(t)$ é a capacidade atual da bateria e $C(t)$ é a sua capacidade nominal.

A determinação do SOC pode ser feita através da medição das tensões de circuito aberto da bateria. Segundo Coelho (2011) em uma bateria totalmente carregada a tensão de circuito aberto está em torno de 12,7 a 12,9 V, já quando está com metade da carga, a tensão da bateria é de 12,18 V e quando está descarregada, ou seja com 0% de carga, a tensão de circuito aberto é 11,7 V. Ver Figura 25.

Figura 25 – Capacidade remanescente e tensão em circuito aberto.



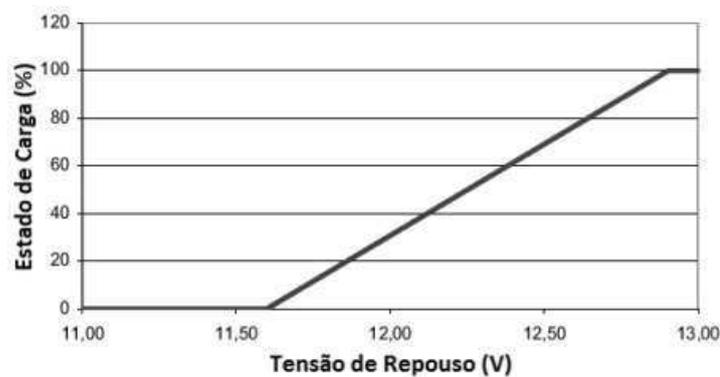
Fonte: UNICOBÁ, 2017.

Em baterias de chumbo-ácido, há uma tensão de equilíbrio que é indispensável para a medição do SOC. Essa tensão é a tensão terminal da bateria medida depois de um tempo de descanso suficiente para que não haja mais influência de recargas e descargas.

O tempo de descanso está em torno de 2h para uma bateria de chumbo-ácido e a partir desse tempo a queda de tensão pode ser considerada como tensão de autodescarga (RIBEIRO, 2015).

Na Figura 26 pode ser vista a dependência entre a tensão de equilíbrio e o respectivo estado de carga.

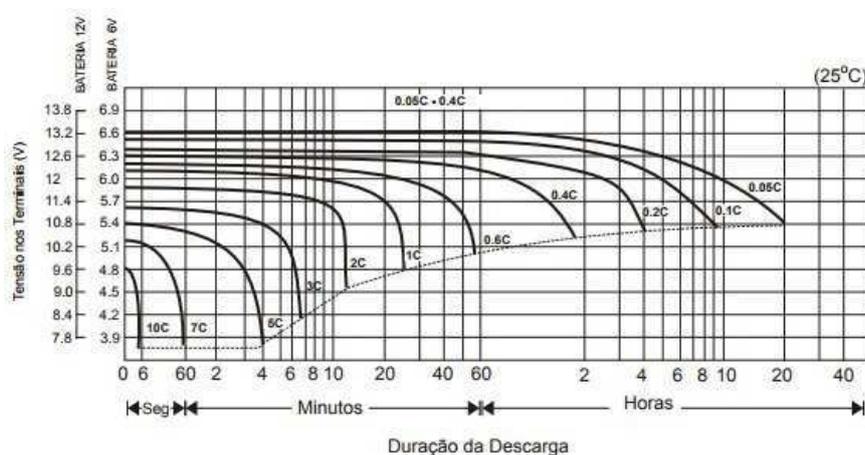
Figura 26 – Estado de carga a partir da tensão de repouso.



Fonte: CYRNE, SOUZA, DOXA, MEIRELES, 2015.

Como é mostrado na Figura 27, a tensão medida nos terminais da bateria enquanto ela está em processo de carga ou descarga varia proporcionalmente com a corrente injetada ou drenada. Assim ela não pode ser utilizada como parâmetro para a estimativa do estado de carga.

Figura 27 – Características das curvas de descarga.



Fonte: UNICOPA, 2017.

3 SISTEMA DE MONITORAMENTO

O conceito de sustentabilidade repousa na utilização racional dos recursos naturais disponíveis no presente, de modo que estes não se esgotem e estejam disponíveis da mesma forma para gerações futuras. A obtenção de energia elétrica como conhecemos hoje é um dos principais contribuintes para as alterações climatológicas que causam o desequilíbrio ambiental que presenciamos. A ferramenta para que este cenário seja revertido é a utilização de energias renováveis, que produzam energia elétrica de forma limpa, permitindo um crescimento sustentável (MOTA, LOPES, SILVA, ALMEIDA, 2012).

Desse modo, com o crescimento do interesse e do investimento em fontes alternativas de energia, a busca por um dispositivo armazenador de energia confiável e eficaz está cada vez maior. As baterias de chumbo-ácido, quando comparadas com outros tipos de baterias, fazem o papel de acumulador de carga, para sistemas fotovoltaicos, com o melhor desempenho.

Além disso, no intuito de incentivar ainda mais um consumo sustentável, a comercialização e produção de automóvel híbrido elétrico ou totalmente elétrico, em que as baterias exercem uma função essencial, é crescente.

Com o aumento da importância das baterias nas aplicações dos dias de hoje, é necessário garantir o uso da bateria da melhor forma possível, ou seja, é necessário garantir a utilização da energia da bateria de forma eficiente e, a operação da mesma dentro de seus parâmetros para que não haja descarregamento excessivo ou sobrecarga, de forma a otimizar o tempo de vida útil da bateria.

O sistema de gerenciamento de baterias (BMS, do inglês, Battery Management System) é responsável por proteger a bateria, monitorando e controlando as condições às quais ela é imposta. Segundo Magalhães, algumas das atividades básicas do BMS são:

- Controle do carregamento da bateria, sem que exista sobrecarga.
- Acompanhamento da descarga da bateria para evitar danos causados na mesma.
- Estimativa do estado de carga (SOC) da bateria e uso deste valor para o controle do carregamento e descarregamento da bateria e sinalização, ao usuário, do seu estado.
- Balanceamento das várias células, ou grupo de células, da bateria.

Descrevendo de maneira objetiva, o BMS basicamente monitora os valores de tensão (total ou de cada célula), corrente que flui através da bateria e temperatura (média, de cada célula ou do eletrólito), estima o estado de carga ou a profundidade de descarga e

o estado de saúde, calcula a corrente máxima de carga e descarga, o tempo de operação, o número de ciclos, a quantidade de carga e energia cedida e armazenada, e, através desses dados, protege a bateria contra operações fora da faixa de segurança, controlando o seu carregamento e descarregamento (FIGUEIRA, 2014).

À medida que as atividades acima são incorporadas no BMS, maior a complexidade do sistema de gestão, e conseqüentemente, mais caro e difícil de implementá-lo. E por esta razão, esse trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento capaz de atender, pelo menos, duas das quatro atividades básicas de um BMS.

3.1 Sistema de Aquisição de Dados

A aquisição de dados (DAQ, em inglês, *data acquisition*) pode ser definida como o processo que mede um fenômeno físico ou elétrico, como tensão, luz, temperatura, pressão e corrente, através de um computador.

A medição dessas grandezas é feita pela utilização de dispositivos que as convertam em um sinal elétrico mensurável. Estes dispositivos são os sensores e ou transdutores, parte essencial de um sistema de aquisição de dados.

Na Tabela 2 é mostrado os sensores mais comuns:

Tabela 2 – Sensores mais comuns

Sensor	Fenômeno
Termospar, termistor	Temperatura
Fotossensor	Luz
Microfone	Som
Potenciômetro	Posição
Acelerômetro	Aceleração

Fonte: Adaptado de DADOS, 2017.

Dependendo do tipo de sensor, sua saída elétrica pode ser uma característica de tensão, corrente, resistência ou outro atributo elétrico que varie com o tempo. Alguns sensores podem exigir componentes e circuitos adicionais para fornecerem um sinal que possa ser lido com exatidão e segurança (DADOS, 2017).

Assim, além de medir os fenômenos já citados, um sistema de aquisição de dados deve analisar e validar as informações recebidas. Logo, um sistema DAQ possui *hardware* de aquisição e medição de dados e um computador com *software* programável.

O *hardware* de aquisição e medição tem como objetivo adequar sinais do mundo exterior de forma que um computador possa entender. Os principais componentes de medição de um dispositivo DAQ são:

- Condicionamento de sinais: os circuitos de condicionamento de sinais adequam os sinais dos sensores para a entrada do conversor analógico para digital (A/D), amplificando ou atenuando a amplitude do sinal, isolando e filtrando para medições mais precisas.
- Conversor A/D: tem como objetivo converter um sinal analógico para digital, coletando "amostras" periódicas do sinal com uma taxa definida. O sinal original é reconstruído através dessas amostras que são transferidas por um barramento ao computador
- Barramento do computador: é o meio que permite a interação entre o dispositivo DAQ e o computador.

Já o computador com *software* programável tem como função processar, visualizar e armazenar os dados de medição, ou seja, ele controla a operação do dispositivo DAQ.

Na Figura 28 é ilustrada as partes de um sistema de aquisição de dados.

Figura 28 – Partes de um sistema DAQ.



Fonte: DADOS, 2017.

3.1.1 Arduino

O projeto Arduino é uma plataforma *open-source* que foi iniciado na cidade de Ivrea, Itália, em 2005, com o objetivo de proporcionar um dispositivo de baixo custo e de programação fácil, acessível para estudantes e amadores que tivessem interesse e o mínimo de conhecimento em eletrônica e programação para criar e montar o seu próprio projeto.

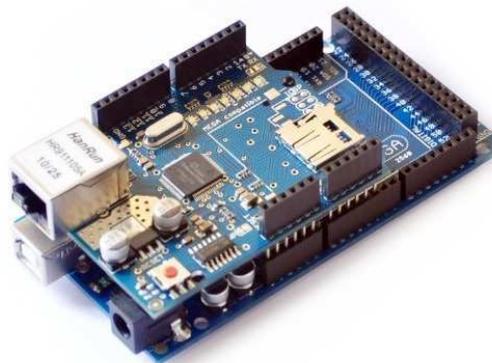
Em outras palavras, ele é uma placa física de computação de código aberto constituído de uma placa microcontroladora, o *hardware*, e um ambiente de desenvolvimento para escrever o código para essa placa, ou seja, o *software*.

A placa do Arduino é constituída por um microcontrolador Atmel, que oferece uma variada combinação de projetos eficientes e integrados, e ainda de pinos de entrada/saída que possibilitam a conexão de circuitos e dispositivos externos para a interação com o ambiente através do *hardware* e *software*. E a programação é feita via IDE (*Integrated Development Environment*, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é um *software* que utiliza uma linguagem baseada em C/C++ para a escrita do código.

O Arduino é utilizado nas mais diversas aplicações com o uso de componentes auxiliares. Entre outras coisas, o Arduino pode ser usado para ler sensores, controlar atuadores, processar informações, controlar dispositivos e/ou ambientes.

Além disso, existem também os chamados *Shields*, que são placas encaixadas no Arduino para expandir suas funcionalidades. Na Figura 29 é mostrado um Arduino Ethernet Shield encaixado no Arduino Mega 2560, que ao mesmo tempo que permite o acesso do Arduino à uma rede ou até mesmo à internet, mantém os demais pinos disponíveis para utilização (THOMSEN, 2014).

Figura 29 – Arduino Ethernet encaixado no Arduino Mega 560.



Fonte: (THOMSEN, 2014).

Há vários modelos de placas Arduino, o que define qual será utilizado é o tipo de aplicação em que será usado. O mais utilizado é o Arduino UNO, que possui 14 portas digitais e 6 analógicas, e entre os modelos com maior poder de processamento tem o Arduino Mega 2560 e o Arduino Due.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

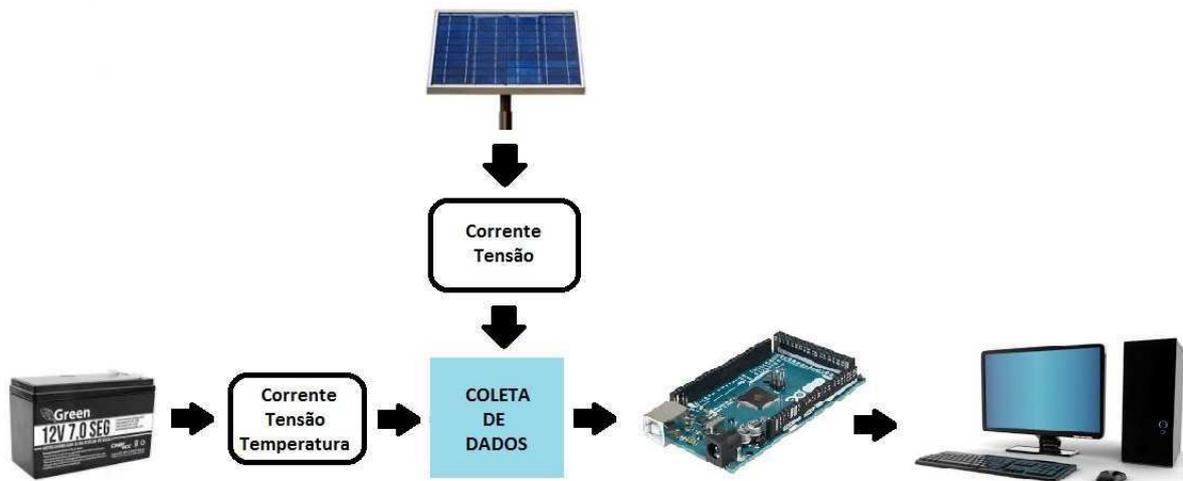
Este capítulo tem como objetivo descrever de forma clara e precisa como o sistema de monitoramento de baterias proposto foi desenvolvido, assim como descrever os materiais e métodos utilizados na elaboração deste trabalho.

Os esquemas elétricos contidos neste capítulo foram desenhados através do software *Protheus*.

4.1 Descrição do Sistema

Na Figura 30 é apresentado o diagrama do sistema sugerido. É ilustrado desde a parte inicial, que é a coleta dos parâmetros da bateria e do painel fotovoltaico, até o processamento e monitoramento desses parâmetros, que é feito com o uso de um computador.

Figura 30 – Diagrama do projeto.



Fonte: Autoria própria, 2017.

O sistema de monitoramento de baterias começa com a aquisição dos dados que influenciam na vida útil e no funcionamento dos dispositivos a serem monitorados, assim, a partir de sensores e de divisores de tensão, os dados, temperatura, corrente e tensão, do painel e da bateria são coletados. Em seguida, com a plataforma Arduino esses dados são convertidos para seus valores reais e processados para serem utilizados no monitoramento e na gestão do sistema.

Logo após o passo anterior, os parâmetros são monitorados com o uso de um computador, que através da conexão entre ele e o Arduino via cabo USB permite que o usuário configure o código como assim lhe convier, além de informar em tempo real sobre

o que está acontecendo no sistema, como por exemplo, se a tensão do painel é insuficiente para carregar a bateria.

4.2 Materiais Utilizados

Essa seção é destinada a descrever os materiais utilizados no projeto.

4.2.1 Bateria Green - 12V 7SEG

A bateria utilizada nos testes foi a Bateria Green 12V 7SEG, como ilustrado na Figura 31.

Figura 31 – Bateria Green 12V 7SEG.



Fonte: MERCADO LIVRE, 2017.

Como dito anteriormente, a bateria escolhida no projeto é do tipo chumbo-ácido selada regulada por válvula e é indicada para alarmes de segurança, brinquedos, cercas elétricas, controle de acesso, equipamentos médicos, iluminação de emergência, portões eletrônicos, sistemas de automação, sistemas fotovoltaicos.

Essa bateria, submetida à uma corrente de descarga de 1A, permite uma autonomia de 7 horas, ou seja, ela tem capacidade nominal de 7Ah. Além disso, as baterias de 12V, devem operar de 13,8V (tensão a plena carga) até 10,5V (tensão de corte), quando toda sua capacidade já foi utilizada, permitindo, desse modo, medir a autonomia da bateria, ou seja, medir o tempo que ela passa do estado carregada para o estado descarregada.

Suas especificações técnicas são:

- Corrente constante de carga à 25° C;
- Tensão nominal: 12V;
- Carga constante: 13,5V/13,8V;
- Carga eventual: 14,5V/15,0V;

- Corrente inicial de carga máxima: 2.16A;
- Comprimento: 151mm;
- Altura: 95mm;
- Largura: 65mm;
- Peso: 1,7Kg.

4.2.2 Módulo Fotovoltaico - 20W

A Figura 32 ilustra o módulo fotovoltaico utilizado no projeto.

Figura 32 – Módulo fotovoltaico.



Fonte: NYCOS, 2017.

Essa placa possui 36 células fotovoltaicas do tipo policristalino, ou seja, os cristais de silício são fundidos em um único bloco, e por isso há a preservação da formação de múltiplos cristais, o que conseqüentemente faz com que a cor do do módulo não seja uniforme, como acontece nos painéis solares de silício monocristalino.

Apesar de ser menos eficiente que o painel de silício monocristalino, cerca de 1% a 5%, esse tipo de painel é um pouco mais mais fácil de produzir.

Suas especificações são (NYCOS, 2017):

- Tolerância: 0 - 5%;
- Tensão de máxima potência (V_m): 18V;
- Corrente de máxima potência (I_m): 1,14A;

- Potência máxima (P_m): 20W;
- Tensão de circuito aberto (V_{oc}): 21,6V;
- Corrente de curto circuito (I_{sc}): 1,29A;
- Temperatura de Funcionamento: $-40^\circ - 85^\circ$.
- Dimensões: 35x45x2,3 mm
- Peso: 1,8Kg.

4.2.3 Arduino - Mega 2560

O modelo do Arduino usado foi o Mega 2560, como mostrado na Figura 33.

Figura 33 – Arduino Mega 2560.



Fonte: SOUSA, 2017.

Ele é uma placa de microcontrolador baseada no chip ATmega2560, possui 54 pinos de entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de reset.

O Arduino Mega 2560 possui tudo para dar suporte ao microcontrolador, bastando conectá-lo a um cabo USB ou a uma fonte de alimentação. Ele é compatível com a maioria dos shields do Arduino Uno, Duemilanove e para o Diecimila e ainda possui o dobro de memória do antigo Arduino Mega.

Suas características são:

- Microcontrolador: ATmega2560;
- Tensão de alimentação: 5V;
- Tensão de entrada (recomendada): 7-12V;
- Tensão de entrada (limite): 6-20V;
- Pinos de entrada/saída: 54 (dos quais 14 podem ser saídas PWM);

- Pinos de entrada analógica: 16;
- Corrente contínua por pino entrada/saída: 40mA;
- Corrente contínua para o pino 3,3V: 50mA;
- Velocidade do clock: 16MHz;

As etapas de aquisição de dados e processamento de dados, no projeto, são feitas através do Arduino.

4.2.4 Módulo Relé

No trabalho um módulo relé de 8 canais é utilizado para funcionar como chave/interruptor. A função dele são duas, conectar o módulo solar à bateria e conectar a bateria à carga.

Na Figura 34 é mostrado o relé que foi usado.

Figura 34 – Módulo relé de 8 canais.



Fonte: DIYMORE, 2017.

O relé é um dispositivo eletromecânico que funciona com base na circulação ou não da corrente elétrica, ou seja, quando a corrente elétrica percorre as espiras da bobina do relé, ela cria um campo magnético que atrai um ou uma série de contatos, fechando ou abrindo um circuito. Ele tem como função permitir que o circuito principal continue funcionando, atuando seu sistema de manobra.

Devido à facilidade, o módulo relé é ideal para conectar um relé a um Arduino ou a outro microcontrolador, pois ele possui todos os componentes necessários para a conexão, sendo necessário somente conectar corretamente ao Arduino.

Algumas das características desse módulo são:

- Lógica inversa: 0 ligado e 1 desligado;

Duas das vantagens desse sensor são:

- Drena somente $60\mu\text{A}$ para sua alimentação, o que faz com que seu auto-aquecimento seja de aproximadamente 0.1°C ao ar livre (MOTA, 2017);
- Em relação aos sensores de temperatura linear calibrados em Kelvin, não é necessário subtrair uma grande tensão constante da saída para obter uma escala em Célsius conveniente (INSTRUMENTS, 2016) .

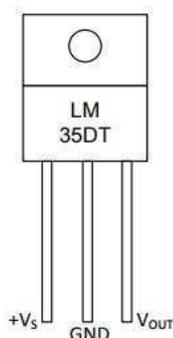
Suas especificações são:

- Tensão de Alimentação: 4 - 30V;
- Escala Linear: $+10.0\text{ mV}/^\circ\text{C}$;
- Temperatura de trabalho em modo básico: 2 - 150°C ;
- Temperatura de trabalho em range completo: $-55 - +150^\circ\text{ C}$;
- Baixa impedância de saída.

Os pinos do sensor, a partir de seu *datasheet* e como é mostrado na Figura 36, tem as seguintes configurações e funções:

- V_{out} : saída analógica do sensor de temperatura;
- GND: pino de aterramento do dispositivo para conectar a fonte de alimentação negativa terminal;
- $+V_s$: pino de fonte de alimentação positiva.

Figura 36 – Pinos do LM35.



Fonte: INSTRUMENTS, 2016.

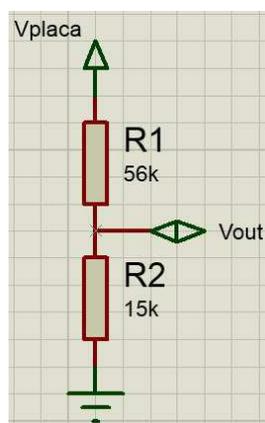
4.3.2 Tensão

As medições das tensões da bateria e do módulo fotovoltaico foram realizadas a partir de um circuito divisor de tensão, cujo objetivo é obter valores de tensão menores do que o valor da tensão que o alimenta, através de uma associação de resistores em série.

Desse modo, os divisores de tensão utilizados foram dimensionados de tal forma para minimizar a corrente que passa por seus resistores e para que a sua tensão de saída esteja sempre numa faixa compreendida entre 0 e 5V, para não danificar o Arduino.

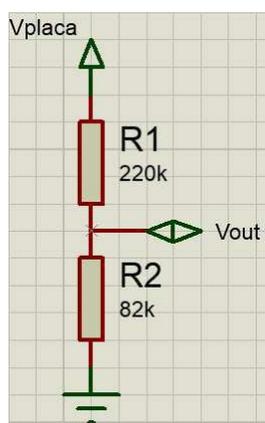
Os esquemas elétricos dos divisores de tensão dimensionados para ler e medir as tensões da bateria e da placa estão ilustrados na Figuras 37 e 38, respectivamente.

Figura 37 – Circuito divisor de tensão do módulo fotovoltaico.



Fonte: Autoria própria, 2017.

Figura 38 – Circuito divisor de tensão da bateria.



Fonte: Autoria própria, 2017.

Como a tensão da bateria e da placa não são fixas, é necessário escolher os resistores do circuito divisor de forma que o Arduino não seja danificado, quando a tensão máxima for atingida. Para garantir isso, o circuito foi dimensionado para uma tensão máxima da placa de 23V e da bateria de 18V.

4.3.3 Corrente

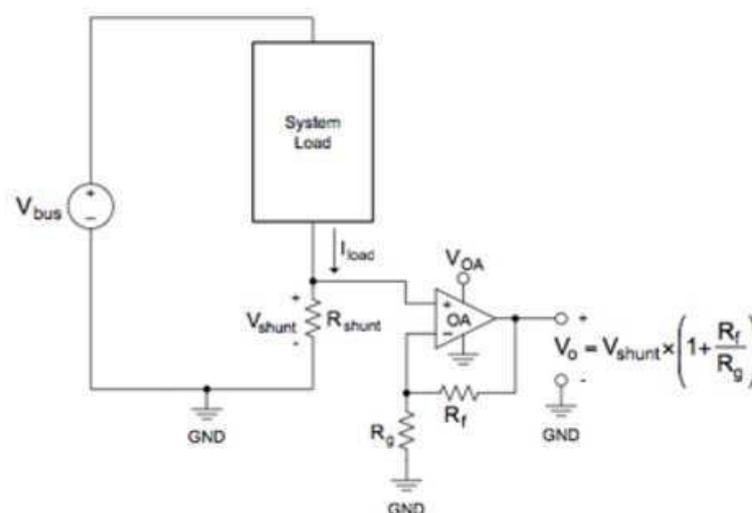
Para medição de corrente elétrica, devido à magnitude da corrente medida nesse projeto, muitas vezes menor que 1A, não é possível fazer aferição diretamente, sendo assim necessário o tratamento do sinal antes que ele seja entregue ao dispositivo de aquisição de dados .

Desse modo, a técnica utilizada para medição se baseia em medir um efeito proporcional que ocorre devido à passagem de corrente. O elemento utilizado para detectar o fluxo de corrente é o resistor *shunt*, que é colocado em série com a carga, de modo a criar uma diferença de tensão através do mesmo à medida que a corrente passa por ele.

Além disso, há a necessidade de um amplificador operacional que amplifica a tensão diferencial em cima do resistor para que o Arduino possa digitalizar antes de enviar as informações para o sistema de monitoramento.

Na Figura 39 é mostrado um sensor de corrente que a detecta no lado baixo, ou seja, o resistor *shunt* é colocado entra a carga e o terra.

Figura 39 – Sensor de corrente



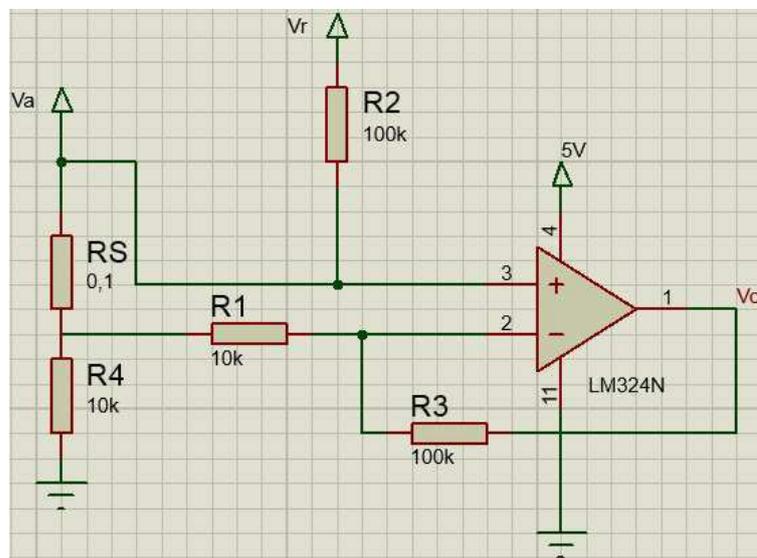
Fonte: SEMING, WELLS, 2012.

A vantagem desse tipo de detecção é que a tensão de modo comum é próxima à terra, permitindo uma medição mais precisa. Já as desvantagens são falhas no circuito que podem ocorrer antes de serem notadas pelo instrumento de detecção e o acréscimo de uma resistência entre a carga e o terra.

Nesse projeto, o resistor shunt é colocado entre a tensão de alimentação e a carga, sendo assim esta medição denominada de detecção do lado alto. As vantagens desse método é que ele não adiciona nenhuma perturbação ao terra e pode começar a medição antes mesmo da corrente fluir pela carga, enquanto a desvantagem é a necessidade de uma boa escolha do resistor para garantir que a medição seja eficaz e precisa.

Na Figura 40 é mostrado o esquema elétrico do circuito dimensionado e utilizado como sensor de corrente para a dada aplicação.

Figura 40 – Circuito construído para detecção de corrente elétrica no projeto.



Fonte: Autoria própria, 2017.

Sendo:

V_a = fonte de alimentação (bateria ou módulo fotovoltaico);

V_r = tensão de referência que depende do valor da tensão da bateria, porém tem valor entre 0 e 3;

R_s = resistor *shunt* com valor de resistência de 0,1Ω;

lm324n = circuito integrado composto de 4 amplificadores.

O circuito é o mesmo utilizado no processo de carga e descarga, pois como o CI possui 4 amplificadores, dois deles são usados, um para medição da corrente fornecida pela placa durante a carga da bateria e outro para medição da corrente fornecida pela bateria durante a sua descarga.

4.4 Calibração

Segundo a RDC 217/2010, a calibração é o conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

No uso geral, a calibração é considerada como o processo de ajuste da saída ou da indicação de um instrumento de medição a fim de estabelecer os resultados de acordo

com o valor da norma aplicada, dentro de uma precisão especificada.

Neste trabalho, a calibração foi feita a partir da medição, com um multímetro confiável, da tensão, obtida através do divisor de tensão do módulo fotovoltaico e da bateria, e das correntes de carga e descarga, obtidas com o sensor de corrente. Foi observado o valor que o divisor de tensão e o sensor estava lendo e este valor foi ajustado para o valor que o multímetro estava lendo através de uma relação matemática.

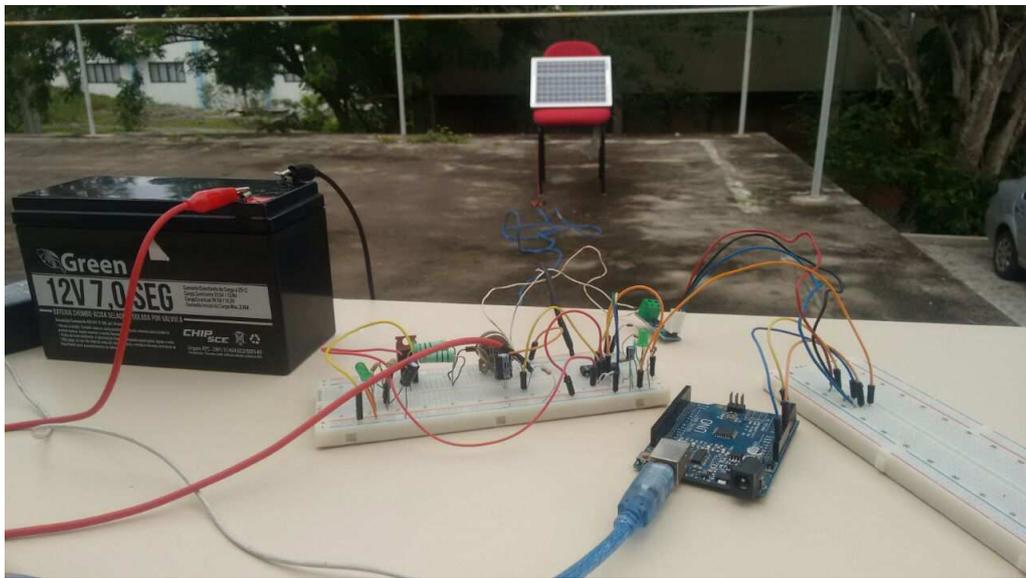
5 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Nesse capítulo será mostrado o protótipo final do sistema.

Esse protótipo garante a gestão do sistema de monitoramento e ainda assegura a coleta dos parâmetros que interferem na vida útil da bateria e do módulo fotovoltaico.

Na Figura 41 é mostrado o primeiro sistema montado para a realização dos testes.

Figura 41 – Sistema utilizado para testes com o sensor de corrente ACS712.



Fonte: Autoria própria, 2017.

Nessa figura é possível notar a bateria, a placa fotovoltaica, o Arduino e os componentes e circuitos eletrônicos montados em protoboard, além de um sensor de corrente ACS712.

O sensor ACS712 - 5A é um sensor de corrente do tipo invasivo, ou seja, para realização da medição é necessário interromper o circuito, e utiliza o efeito *hall* para detectar o campo magnético gerado pela passagem de corrente, tendo em sua saída analógica um sinal proporcional de 185 mV/A.

Entre as vantagens desse sensor, pode-se citar a facilidade no uso e a capacidade de medir correntes positivas e negativas de até 5A. Entretanto, ele não serve para medições de correntes muito baixas, pois como a sua saída tem um valor de 185mV para cada 1A, para valores abaixo de 1A, a saída apresentará valores menores que 185mV e em certas medições o ruído pode ser maior do que o valor da corrente que deveria ser lido, fazendo assim com que a medição seja errada.

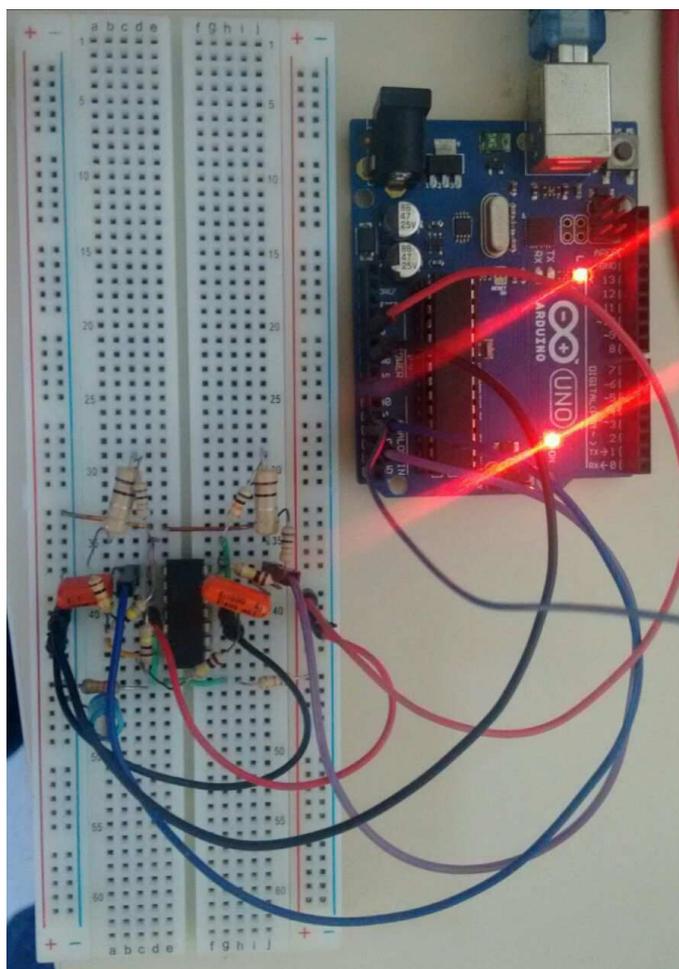
Desse modo, depois de muitos testes com este sensor, foi percebido que para cor-

rentes menores do que 1A o sensor apresentava em sua saída valores aleatórios e diferentes das medições feitas por amperímetro, e por isso foi decidido montar um circuito próprio para medição de corrente utilizando resistor *shunt*.

Além disso, todo o circuito foi repensado e remontado com o objetivo de diminuir os componentes utilizados e de melhorar o sistema proposto.

Os circuitos montados para medição da corrente de carga e descarga e a ligação desses circuitos no Arduino são mostrados na Figura 42.

Figura 42 – Circuito para medição de corrente.



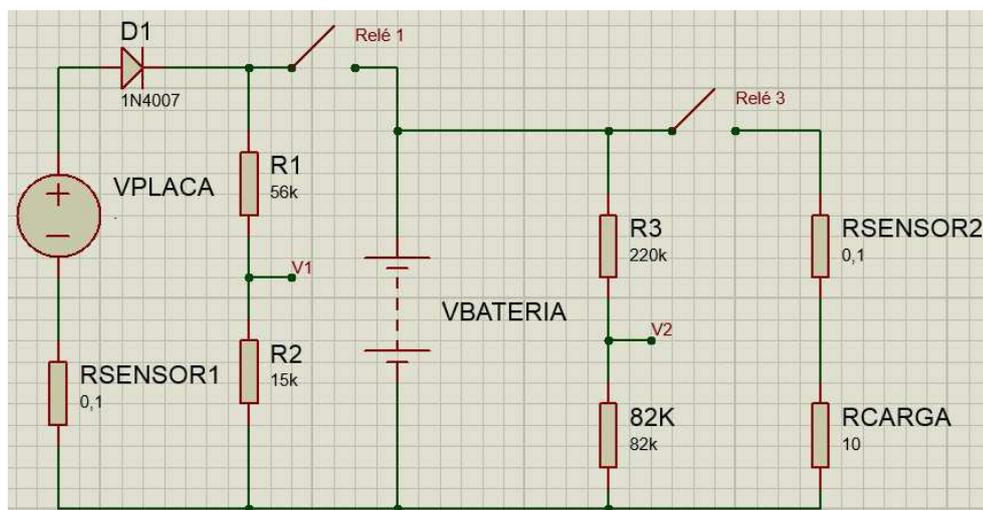
Fonte: Autoria própria, 2017.

O resistor shunt ligado no pino 1 do CI é referente à medição durante a carga e o ligado no pino 14 é referente à medição durante a descarga. Os capacitores foram introduzidos para eliminar a oscilação nos resultados.

Já o esquema elétrico do novo circuito, criado a fim de se obter uma maior exatidão nas medições e desenhado através do *software* Protheus, está ilustrado na Figura 43.

O circuito foi pensado de tal maneira que tanto durante a carga da bateria quanto na sua descarga, seu nível de tensão seja sempre lido, monitorado e analisado.

Figura 43 – Esquema elétrico do circuito final.



Fonte: Autoria própria, 2017.

A gestão e o monitoramento do sistema é feita pelo Arduino e se baseia nos valores limites para um bom funcionamento da bateria e no valor mínimo que a mesma precisa para ser carregada.

O método de carregamento escolhido é por tensão constante e de acordo com o *datasheet* da bateria, os seguintes parâmetros devem ser tomados como limitantes:

- Em flutuação: 2,25 – 2,30 V/elemento a 25°C;
- Para aplicações cíclicas: 2,40 – 2,45 V/elemento a 25°C;
- Corrente inicial de 0,1 – 0,25C.

Em sistemas fotovoltaicos autônomos a bateria é utilizada ciclicamente, e por isso a gestão do sistema, neste projeto, é feita da seguinte forma:

- Processo de carga: $V_{bateria} < 10,5V$

Quando a tensão da bateria em carga for menor do que 10,5V significa que a mesma está descarregada, assim, durante o processo de carga, a bateria só será carregada se, e somente se, a tensão do módulo fotovoltaico for pelo menos 15V. Desse modo, depois da leitura e da verificação dos níveis de tensão da placa fotovoltaica e da bateria pelo Arduino, através dos divisores de tensão compostos por R_1 e R_2 para placa e por R_3 e R_4 para bateria, o relé 1 é acionado pelo Arduino, enquanto o relé 3 recebe um sinal para que seus contatos sejam abertos, ou seja, para a bateria ser desconectada da carga, e a bateria será carregada gradualmente. Se a tensão do módulo for menor do que 15V, o Arduino fará uma nova leitura e verificação

e continuará a repetir isso enquanto não houver tensão suficiente para carregar a bateria.

O $R_{sensor1}$, é o resistor *shunt* que irá ler a corrente que flui da placa fotovoltaica para a bateria, e o diodo foi utilizado para que durante a carga a corrente flua somente da placa para a bateria, e nunca o inverso.

O processo de carga começa quando a tensão nos terminais da bateria é menor do que 10,5V e começa quando essa tensão é maior do que 14,4V.

- Processo de descarga: $V_{bateria} > 14,4V$

A bateria está carregada quando a tensão em seus terminais for maior do que 14,4V. Logo, após as leituras das tensões da placa e da bateria, realizadas da mesma forma que no processo de carga, for constatado que a bateria atingiu a esse nível de tensão, o Arduino manda um sinal para o relé 3 para que seus contatos sejam fechados e manda outro para o relé 1 para que seus contatos sejam abertos, desconectando, desse modo, a placa da bateria e conectando a bateria à carga.

A corrente será lida pelo resistor shunt $R_{sensor2}$, que mede a corrente entregue à carga pela bateria.

O processo de descarga começa quando a tensão nos terminais é 14,4V e termina quando essa tensão é 10,5V.

Tanto na carga, quanto na descarga, a temperatura será medida e lida, sendo este um outro parâmetro limitante para o funcionamento do sistema. Os limites estabelecidos, baseado no *datasheet* da bateria, foram temperaturas ambiente entre -15°C até 50°C.

A carga utilizada para os testes foi uma associação em paralelo de dez resistores de 100Ω, totalizando um valor de resistência de 10Ω. Ver Figura 44.

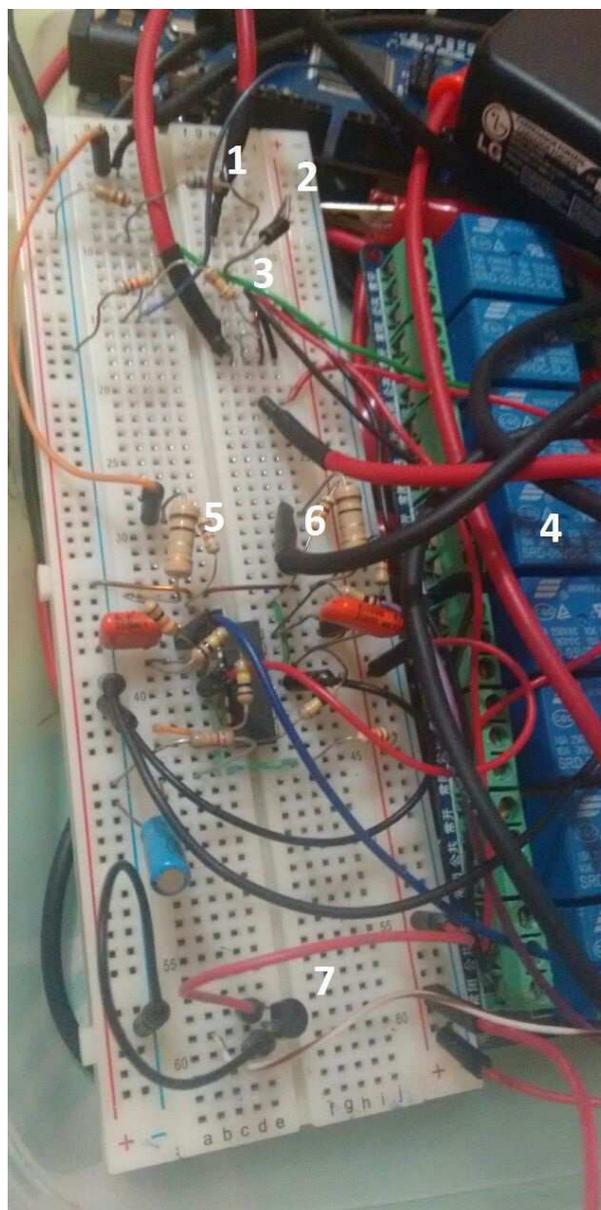
Figura 44 – Carga.



Fonte: Autoria própria, 2017, 2017.

Na Figura 45 está ilustrado o circuito eletrônico final montado em protoboard e o módulo relé utilizado.

Figura 45 – Circuito eletrônico final montado em protoboard e módulo relé.



Fonte: Autoria própria, 2017.

Sendo:

- 1 - Divisor de tensão do módulo fotovoltaico;
- 2 - Diodo;
- 3 - Divisor de tensão da bateria;
- 4 - Módulo relé;
- 5 - Resistor shunt utilizado para medição da corrente de carga;

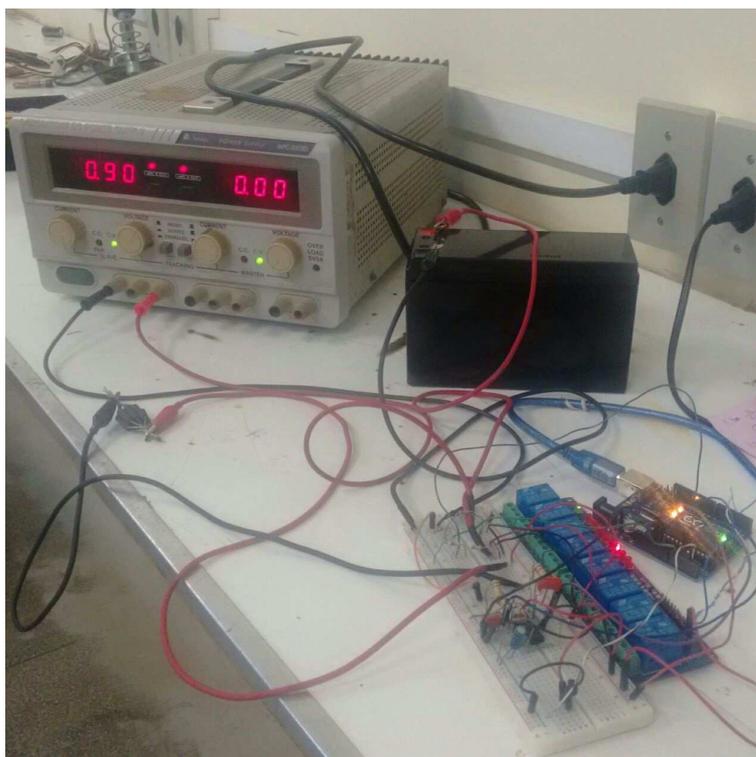
6 - Resistor shunt utilizado para medição da corrente de descarga;

7 - Sensor de temperatura LM35.

Nas Figuras 46 e 47 é mostrado o protótipo final do circuito em funcionamento. O módulo fotovoltaico foi substituído por uma fonte simétrica, MPC-3003D, devido os testes terem sido realizados a noite. Essa fonte consiste de duas fontes idênticas ajustáveis de modo independente e uma fixa de 5V. Somente uma fonte ajustável foi utilizada.

Na Figura 46 é ilustrado o funcionamento do sistema durante o processo de carga da bateria, que pode ser verificado através do valor da corrente mostrado no visor esquerdo da fonte, corrente fornecida pela placa, e ainda pelo LED (do inglês, Light Emitting Diode) vermelho aceso no módulo relé, que significa que o relé 3 está com seus contatos abertos, ou seja, a carga está desconectada e a bateria está sendo carregada (LED 1 referente ao primeiro relé apagado, o que significa que seus contatos estão fechados).

Figura 46 – Fonte e bateria conectados - carga desconectada.

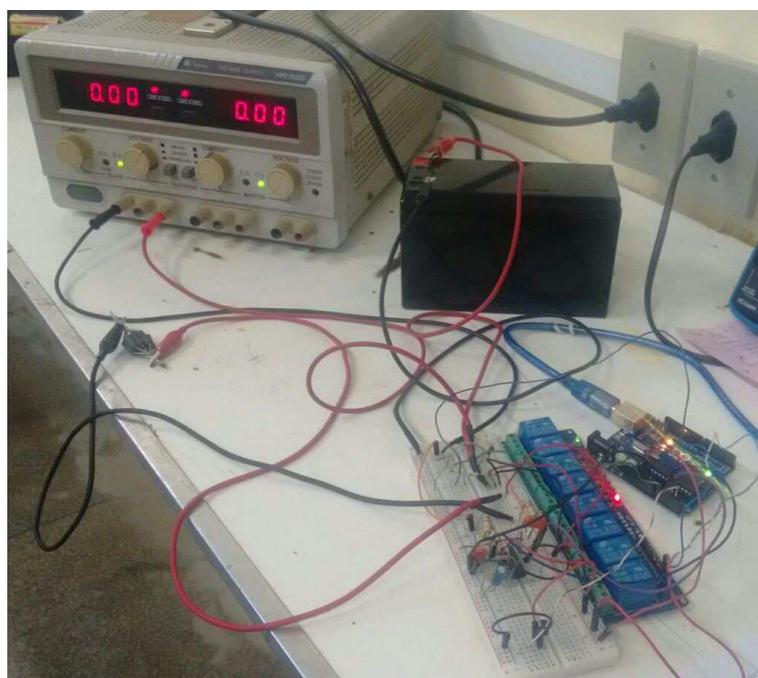


Fonte: Autoria própria , 2017 .

Já na Figura 47 é mostrado o funcionamento do sistema quando a bateria está alimentando a carga, ou seja, durante o processo de descarga, quando a placa não fornece mais corrente para a bateria. Isso pode ser verificado através do valor da corrente mostrado também no visor esquerdo da fonte, que é zero, e pelo LED aceso no módulo relé, referente ao relé 1 significando que seus contatos estão abertos, enquanto o LED referente ao relé 3 está apagado, ou seja seus contatos estão fechados, fazendo assim a conexão entre a

bateria e a carga.

Figura 47 – Bateria e carga conectadas - fonte desconectada.



Fonte: Autoria própria, 2017 .

6 RESULTADOS

Neste capítulo os resultados dos testes serão expostos e analisados em tópicos separados. Além disso, será feita uma comparação de preços entre o que foi gasto com os componentes e circuitos utilizados no projeto e o que poderia ter sido gastado com os sensores vendidos comercialmente.

Os gráficos deste capítulo foram obtidos através do *software* MATLAB.

6.1 Carga Lenta da Bateria

O carregamento feito de forma lenta é o ideal para a bateria, pois apesar dela demorar mais para carregar, não há aquecimento e há minimização da geração de gases na mesma.

Este tipo de carga é caracterizado pelo valor da corrente entregue à bateria, que deve ser cerca de 10% da sua capacidade nominal.

O teste foi realizado quando a bateria, em circuito aberto, apresentava em seus terminais uma tensão de 11,9V. A tensão da fonte (painel) aplicada foi constante durante todo o carregamento e de valor 15,5V. Como a corrente entregue pela fonte utilizada, assim como a do painel, depende da carga, ou melhor do estado de carga da bateria, essa só foi constatada nas medições.

Na Figura 48 é mostrado dois gráficos traçados a partir do teste realizado e pelo *software* MATLAB. No primeiro é mostrado a tensão da fonte, a tensão medida pelo Arduino e a tensão medida pelo multímetro, e no segundo é mostrado o comportamento da corrente fornecida pela fonte à bateria.

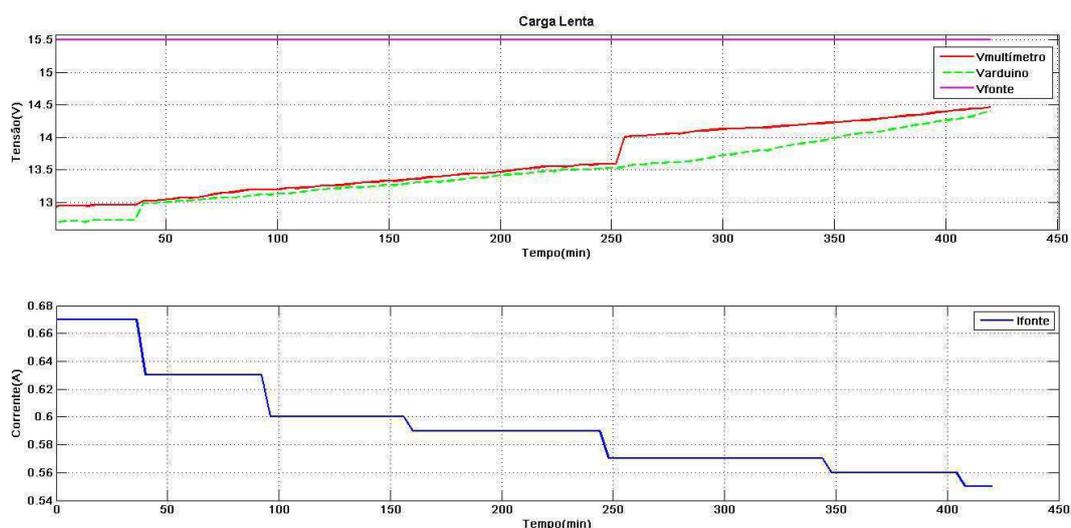
Desse modo, é notado que no momento que a placa fotovoltaica é conectada à bateria, a tensão nos terminais da mesma, medida pelo voltímetro, aumenta cerca de 1V, enquanto a corrente fornecida pela placa tem valor de 0,68A, cerca de 10% da capacidade nominal da bateria que é 7Ah.

A corrente entregue pelo módulo possui o comportamento esperado, pois como a resistência interna da bateria varia de acordo com a carga, têm-se que ela é maior quando a bateria está descarregada e menor à medida que a bateria carrega, e assim de acordo com o aumento da carga da bateria, a corrente necessária para carregá-la diminui, pois sua resistência interna já vai ser muito baixa. A corrente final, de acordo com o gráfico da corrente, quando a bateria está com 14,4V em seus terminais, é cerca de 0,55A.

Através do gráfico da tensão é observado que a tensão nos terminais da bateria,

aumenta gradualmente, e demora cerca de 420 min, 7 horas, para atingir 14,4V, tensão esta que indica que a bateria está carregada. E ainda, é possível notar que, do momento que o carregamento começa até 250 minutos, a tensão na bateria aumenta bem lentamente, aumentando por volta de 0,1V a cada 50 min. A partir dos 250min, a tensão aumenta consideravelmente, o que é justificado também pela resistência interna da bateria, que varia de acordo com o seu estado de carga.

Figura 48 – Carga lenta.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

A diferença nos valores das medições realizadas pelo voltímetro e pelo Arduino são justificadas pela queda de tensão nos cabos. Essa diferença em nenhum momento do teste foi maior do que 0,6V.

6.2 Carga Rápida da Bateria

Esse tipo de carregamento é feito aplicando níveis de corrente altos para que o tempo de carga seja menor. Ele não é indicado, pois a elevação da corrente, implica em sobreaquecimento na bateria, o que reduz a sua vida útil.

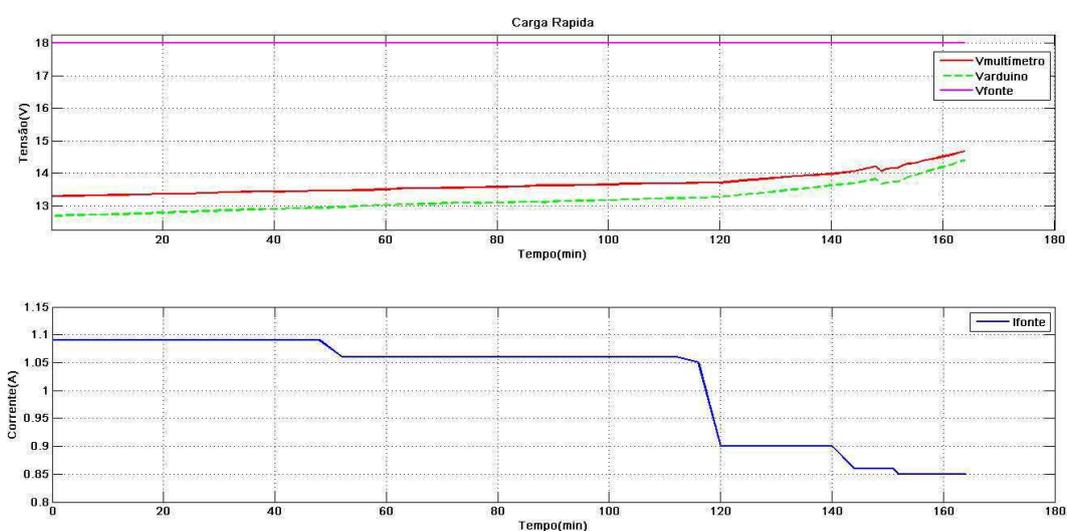
O teste foi realizado quando a tensão nos terminais da bateria era de 12,2 V, ou seja, ela não estava totalmente carregada. Além disso, a tensão fornecida pela fonte foi constante e igual a 18V.

Na Figura 49 são mostrados dois gráficos referentes à carga rápida. O primeiro mostra o comportamento da tensão da fonte e a tensão nos terminais da bateria medida pelo voltímetro e pelo Arduino, e o segundo mostra o comportamento da corrente entregue pela placa à bateria.

Como esperado, a bateria atingiu o valor de 14,4V mais rapidamente do que no caso da carga rápida, e a corrente inicial de carga foi maior. Ela demorou cerca de 160 min, 2 horas e 50 minutos, para carregar completamente, e no momento que o carregamento começou, sua tensão aumentou de 12,2 para 13,2. Entretanto, nos primeiros 120 min, só houve um acréscimo de 0,5V em sua tensão, aumentando mais rapidamente nos últimos 40 minutos.

A corrente diminuiu à medida que a carga da bateria aumentou, como já era esperado, e seu valor final foi de 0,85A.

Figura 49 – Carga rápida da Bateria.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

A diferença nos valores das medições realizadas pelo voltímetro e pelo Arduino são justificadas pela queda de tensão nos cabos. Essa diferença em nenhum momento do teste foi maior do que 0,4V.

6.3 Descarga da Bateria

A bateria começa a descarregar, no momento que a tensão nos terminais da bateria é maior do que 14,4V, havendo, desse modo, a conexão entre a bateria e a carga.

Na Figura 50 é mostrado os dois gráficos que ilustram o comportamento da tensão lida pelo voltímetro e pelo Arduino nos terminais da bateria, e do comportamento da corrente fornecida pela bateria à carga de 10Ω.

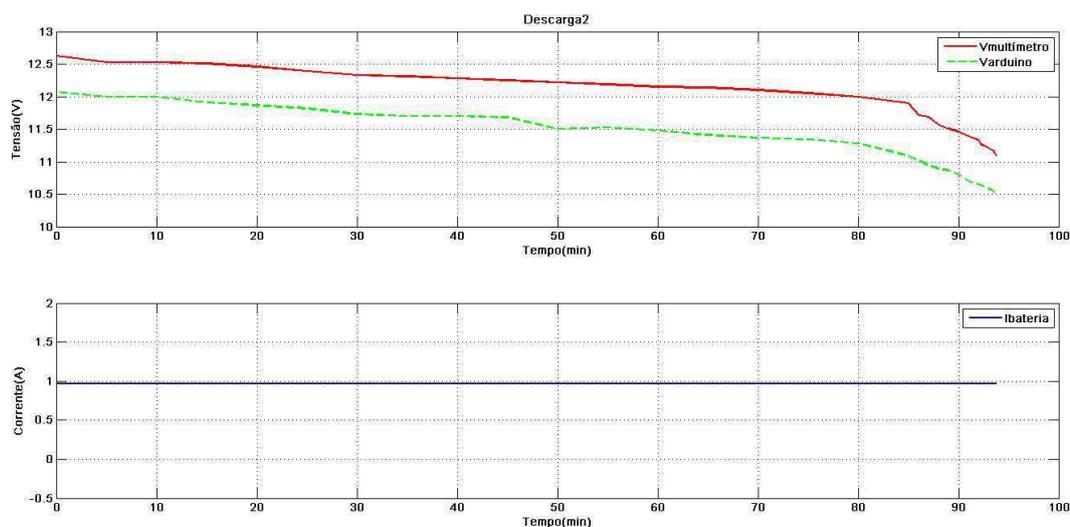
É possível observar que a tensão lida pelo multímetro no momento que a carga é conectada à bateria é cerca de 12,6V, enquanto o valor lido pelo Arduino é quase 12V.

Essa diferença é justificada pela queda de tensão nos cabos, que como a corrente que passa por eles é considerável, há queda de tensão.

É notado que a bateria demora cerca de 90 minutos, 1 hora e meia, para descarregar, ou seja, para sua tensão ser menor do que 10,5V, e a partir dos 70 minutos, ela descarrega rapidamente.

A corrente fornecida pela bateria à carga é constante e igual a 0,97A.

Figura 50 – Descarga da Bateria.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

6.4 Processo Carga-Descarga

Nas Figuras 51, 52 e 53 são mostrados gráficos que contém a tensão nos terminais da bateria, a corrente fornecida pela fonte à bateria e a corrente entregue à carga pela bateria, respectivamente.

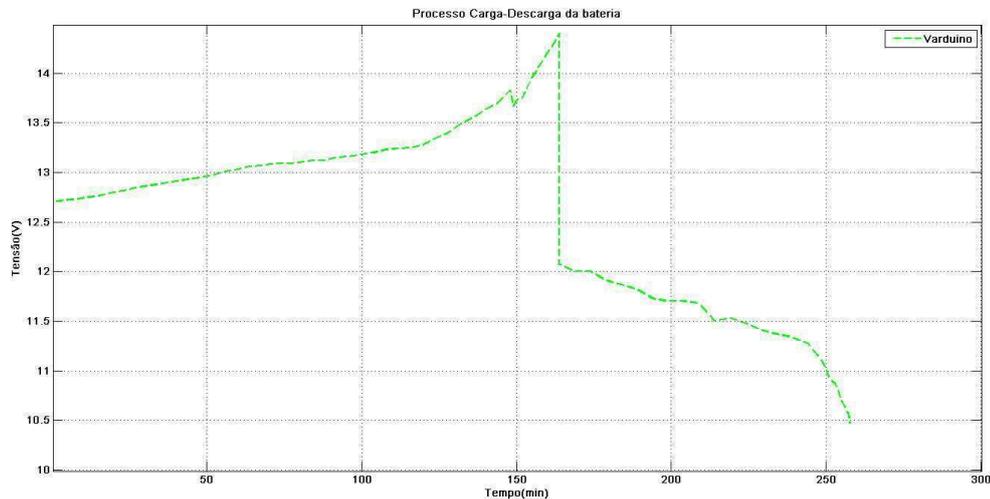
Esses gráficos foram obtidos através dos testes de carga rápida da bateria e no de descarga. A partir deles é possível notar o comportamento da tensão e da corrente no momento que a bateria carrega e passa a alimentar a carga.

O processo de carga-descarga demora cerca de 250 minutos, 4 horas e 15 minutos, como pode ser visto na Figura 51.

O comportamento da tensão ocorre de acordo o esperado, ou seja, a bateria é carregada de forma rápida, com uma corrente inicial de 1,09A, e no momento que a tensão em seus terminais é maior do que 14,4V, o sistema de gestão desconecta a fonte da bateria e conecta a bateria à carga. A bateria continuará conectada à carga enquanto a sua

tensão não for menor do que 10,5V, o que faz a fonte ser conectada à carga, continuando assim o ciclo de carga.

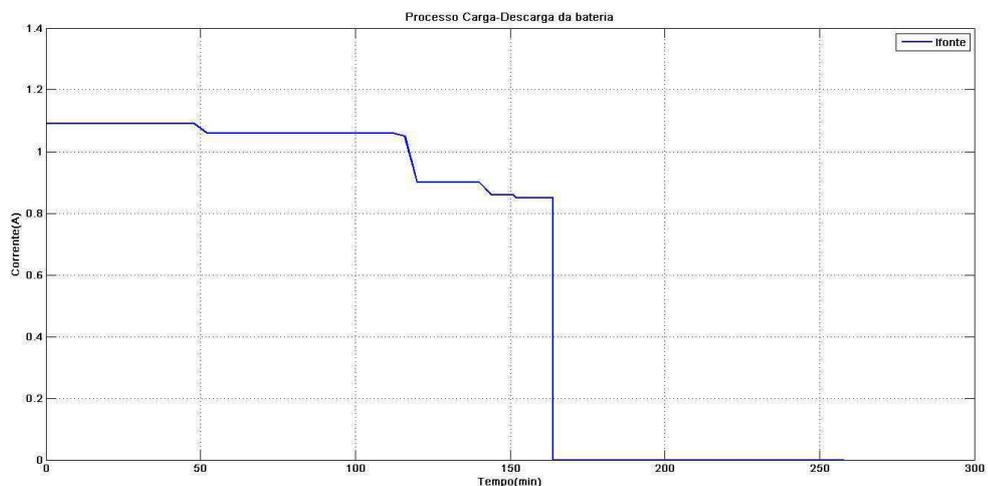
Figura 51 – Ciclo de Carga-Descarga: Tensão nos terminais da bateria



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

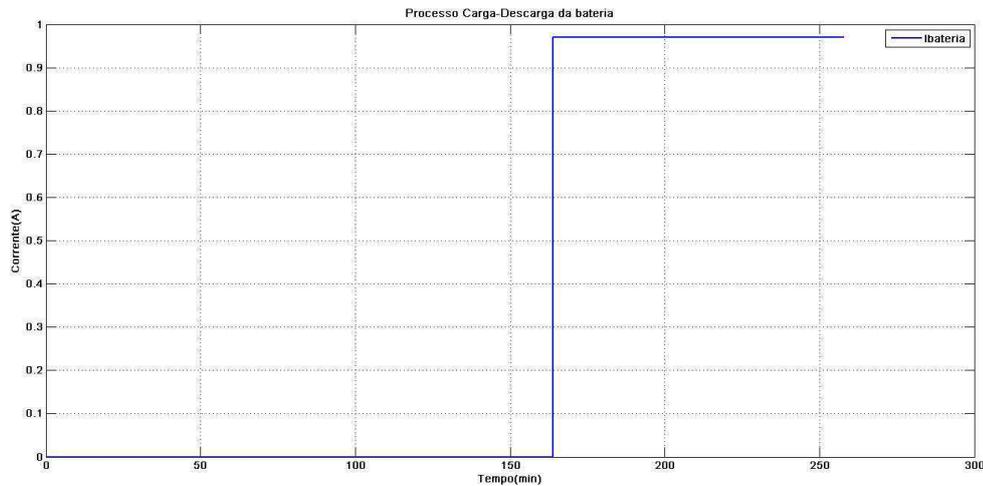
Já a corrente fornecida pela fonte diminui à medida que a carga da bateria aumenta, sendo nula no momento que a tensão nos terminais da bateria é maior do que 14,4V, quando há a desconexão entre a fonte e a bateria, e a conexão entre a bateria e a carga, que até então fornecia à carga corrente com valor nulo, mas assim que foram conectadas, teve seu valor de corrente constante e igual a 0,97, como pode ser visto nas Figuras 52 e 53.

Figura 52 – Ciclo de Carga-Descarga: Corrente fornecida pela fonte à bateria.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Figura 53 – Ciclo de Carga-Descarga: Corrente fornecida pela bateria à carga.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

6.5 Comparação de preços

Nesta seção, os preços dos sensores vendidos comercialmente serão comparados com o preço dos circuitos criados para detectar passagem de corrente e ler tensão.

6.5.1 Tensão

No projeto, para o Arduino fazer a leitura da tensão no módulo fotovoltaico e nos terminais da bateria, foram utilizados dois divisores de tensão, um para cada tensão a ser lida.

Uma outra opção seria utilizar o módulo sensor de tensão CC para Arduino, vendido no site Baú da Eletrônica, que detecta toda e qualquer tensão inferior a 25V.

O custo de cada divisor de tensão foi de R\$0,20, enquanto que o valor gasto na compra de um módulo sensor seria de R\$15,00, totalizando um custo de R\$30,00 pela compra de dois sensores, sendo um para medir a tensão da bateria e outro para medir a tensão no módulo fotovoltaico.

Desse modo, utilizando divisores de tensão no projeto, foi economizado o valor de R\$29,60.

6.5.2 Corrente

A corrente, no projeto, foi medida através de um circuito que utiliza resistor *shunt* e amplificador.

Comercialmente, há o sensor de corrente de alta exatidão I2c Ina219-038, que

realiza medições de corrente em circuitos com tensão DC entre 0 e 26V e custa, no site Baú da Eletrônica, R\$29,90.

Como deve ser medido a corrente de carga e de descarga, são necessários dois sensores de corrente. Logo, o custo total, caso fosse comprado o sensor Ina219-038 é de R\$59,80, enquanto os sensores utilizados no projeto, tem custo total por volta de R\$6,00.

A economia feita em relação ao sensor de corrente foi de R\$53,80.

6.5.3 Valor Total Economizado

Utilizando divisores resistivos para a leitura da tensão do módulo fotovoltaico e sensores de corrente próprios para o sistema sugerido, o valor economizado neste projeto, foi de R\$ 29,60 para detecção de tensão e R\$53,80 para corrente, totalizando um valor de R\$83,40.

7 CONCLUSÃO

No decorrer deste trabalho foi visto que devido a atual situação do aquecimento global e das limitações das fontes de energia do tipo não renovável, a busca por energias que vem de recursos naturais ilimitados, é cada vez maior. Como o Brasil está localizado em uma região no mundo com alto índice de incidência de luz solar, a energia solar fotovoltaica tem tido bastante destaque nos últimos anos, devido ao seu custo de produção e pela facilidade em sua instalação.

Como só há luz solar durante o dia, é necessário o uso de baterias para o armazenamento da energia produzida e não utilizada durante as horas que tem sol, para então garantir o fornecimento de energia elétrica constante ao consumidor.

Sendo a bateria um dos principais componentes de um sistema fotovoltaico, é necessário um estudo para saber quais parâmetros interferem no seu funcionamento e na sua vida útil.

Com isso, este projeto teve como principal objetivo o desenvolvimento de um protótipo que é responsável por coletar os dados que são importantes para um bom funcionamento da bateria, além de ser responsável por monitorar e fazer a gestão desses parâmetros.

O objetivo foi alcançado e o Arduino foi a plataforma utilizada para fazer o processamento de dados, o monitoramento e a gestão do sistema. Os parâmetros lidos e analisados foram a tensão do módulo fotovoltaico, a tensão nos terminais da bateria, a temperatura ambiente, a corrente fornecida pela placa à bateria e a corrente fornecida pela bateria à carga.

Os resultados obtidos foram de acordo com o esperado e as diferenças das medições da tensão pelo Arduino e pelo voltímetro são explicadas pelo fato de haver queda de tensão nos condutores. A diferença das leituras sempre foram constantes e iguais a 0,6V, sendo este, um valor aceitável por ser menor do que pelo menos 10% dos valores lidos.

Além disso, foi mostrado o quanto foi economizado na construção de circuitos próprios de leitura de tensão e de corrente, comparando o preço gasto nestes com o que poderia ter sido investido em sensores comerciais.

Como trabalho futuro, é proposta a realização do envio dos dados remotamente, ou seja, que o sistema envie esses dados para o consumidor via *wi-fi* para um celular ou para um servidor. Também é proposto que a gestão do sistema fique a critério do usuário, por exemplo, para este projeto foi escolhido que enquanto a placa carrega a bateria, a carga não está sendo alimentada. Porém, se o usuário decidir que a carga também deve

ser alimentada, basta que ele mude o código na IDE do Arduino.

Referências

- ANJOS, Talita Alves dos. *A história da Eletricidade*. 2017. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/a-historia-eletricidade.htm>>. Acesso em: Maio de 2017.
- GURJÃO, Edmar Candeia. *Energy Management UFCG*. Campina Grande, PB, 2016.
- MACHADO, Alexandre Regueiro de Almeida. *Gerenciamento de Energia em Planta Industrial Visando a Redução de Custos de Operação*. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MCCLENAHAN, Doug. Annual Report. *IEA Solar Heating & Cooling Programme*, Estados Unidos, 2008. Disponível em: <http://dgi.unifesp.br/sites/comunicacao/pdf/entretereses/guia_biblio.pdf>. Acesso em: Julho de 2017.
- VILLALVA, Marcelo Gradella. *Energia Solar - Conceitos e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.
- Superintendência de Comunicação e Relações Institucionais - SCR. *Informações Técnicas*, 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoestecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inherit>. Acesso em: Julho de 2017.
- FIGUEIREDO, Helder de. *Espectro Eletromagnético*. 2012. Disponível em: <<http://www.pontociencia.org.br/galeria/?content%2FFisica%2FOptica%2FEspectro+Eletromagnetico.jpg>>. Acesso em: Julho de 2017.
- ZILLI, Bruno Meneghel; LORENZETTI, Felipe; SANCHEZ, Fernando Tomas. *Sistema de Baixo Consumo Alimentado por Energia Renovável*. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná.
- BOAS notícias para o estado da Paraíba. Hot Sun. Paraíba, 2016. Disponível em: <<http://www.hotsun.com.br/tag/geracao-distribuida/>>. Acesso em: Julho de 2017.
- COSTA, Louelson A.L. de Azevedo; ALVES, Luciando Francisco Sousa; GOMES, Ruan Carlos Masques. *Micurso de Painéis Fotovoltaicos*. 2017
- O GOVERNO da Paraíba assinou o acordo de cooperação com o Banco do Nordeste do Brasil. Brasil Solar. 2016. Disponível em: <<http://www.portalenergiasolar.com.br/energia-solar/resultadonoticias.asp?id=748>>. Acesso em: Julho de 2017.
- MAIS três estados isentam ICMS para geração distribuída. Secretaria de Mi-

nas e Energia. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/2016/07/mais-tres-estados-isentam-icms-para-geracao-distribuida/>>. Acesso em: Julho de 2017.

SOUZA, Ronilson di. *Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica*. Ribeirão Preto, SP: Livro Digital, 2016. Disponível em: <http://dgi.unifesp.br/sites/comunicacao/pdf/entreteses/guia_biblio.pdf>. Acesso em: Julho de 2017.

GOMES, Ruan Carlos Marques; ALVES, Luciano Francisco Sousa; COSTA, Louelson A. L. de Azevedo. *Minicurso de Painéis Fotovoltaicos*. 2017. Apostila - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.

MARTINO, Lulis. *Quando o dia é igual a noite..* 2016. Disponível em: <<http://lulismartino.blogspot.com.br/2016/09/>>. Acesso em: Julho de 2017.

FOTOVOLTEC. *Energia Fotovoltaica: Tecnologia*. 2016. Disponível em: <<http://www.fotovoltec.com.br/front/tecnologi>>. Acesso em: Julho de 2017.

PASSO a passo da fabricação do painel solar. Portal Solar. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/passos-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: Julho de 2017.

GARCÍA, Felipe Hernández; KRENZINGE, Arno; ALÉ, Jorge A. Villar[15] . *Bancada Experimental para Estudo de Sistemas Híbridos Eólico-Fotovoltaicos*. 2002. Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, São Paulo.

COELHO, K.D. *Estudo de uma Fonte Ininterrupta de Corrente Contínua de Baixa Potência Gerenciada por um Microcontrolador*. 2001. Dissertação - INEP, UFSC, Florianópolis, Santa Catarina.

LUQUE, Antonio; HEGEDUS, Steven. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. 2 ed. Chichester, UK:John Wiley & Sons, 2011.

VERA, Luis Horacio. *Análise do Impacto do Comportamento de Baterias em Sistemas Fotovoltaicos Autônomos*. 2009. Tese - PROMEC. UFRGS.

BOCCHI, Nerilso; FEERRACIN, Luiz Carlos; BIAGGIO, Sonia Regina. *Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental*. 2000. Disponível em: <http://qnint.sbgq.org.br/qni/popup_visualizarConceito.php?idConceito=45&semFrame=1>. Acesso em: Julho de 2017.

PEIXOTO, Rafael Lima. *Monitoramento da Descarga de Bateria com o Uso de Microprocessador ARM*. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RIBEIRO, Lincoln. *Apostila Treinamento Bateriais*. 2015. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/270807735/APOSTILA-TREINAMENTO-BATERIAS>>. Acesso em: Julho de 2017.

BASTOS, Renan Fernandes. *Sistema de Gerenciamento para Carga e Descarga de Baterias (Chumbo-Ácido) e para Busca do Ponto de Máxima Potência Gerada em Painéis Fotovoltaicos Empregados em Sistemas de Geração Distribuída*. 2013. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FIGUEIRA, Ramo Formiga. *Relatório de Estágio Supervisionado - Acumuladores Moura*. 2014. Relatório de Estágio - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba.

UNICOBA, Departamento Técnico da. *Manual Técnico*. Disponível em: <<https://www.robocore.net/upload/ManualTecnicoBateriaUnipower.pdf>>. Acesso em: Julho de 2017.

CYRNE, Luciano; SOUZA, Caio Márcio; DOXA, Guilherme; MEIRELES, Paulo Henrique. *Sistema de Monitoramento de Baterias*. 2015. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/PAP229>>. Acesso em: Agosto de 2017.

MOTA, Juliana de Oliveira; LOPES, Ciro Dal Bianco; SILVA, Washington Luís Santos; ALMEIDA, Tiago Millioli Pereira. *Sistema de armazenamento de energia solar com controle microprocessado para dispositivos eletrônicos*. 2012. Disponível em: <<http://prop.ipto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/4481/2578>>. Acesso em: Agosto de 2017.

DADOS, O que é. *Aquisição de Dados*. Disponível em: <<http://www.ni.com/data/pt/>>. Acesso em: Agosto de 2017.

THOMSEN, Adilson. *O que é Arduino?*. 2014. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: Agosto de 2017.

MERCADO LIVRE. *Bateria Selada 12v - Alarme Green*. Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-80020930-bateria-selada-12v-alarme-green__JM>. Acesso em: Agosto de 2017.

NICOS, Akthon Eletr. *Painel Fotovoltaico Policristal 20w 18v*. Disponível em: <<https://produto.mercadolivre.com.br/painel-fotovoltaico-policristal-20w-18v>>. Acesso em: Agosto de 2017.

SOUZA, Fabio. *Arduino MEGA 2560*. Disponível em: <<https://produto.mercadolivre.com.br/painel-fotovoltaico-policristal-20w-18v-celula-placa-solar-JM?source=gps>>. Acesso em: Agosto de 2017.

DIYMORE. *5 V 8 Canais Placa de Relé Módulo*. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/5V-8-Channel-Relay-Board-Module-Optocoupler-LED-Arduino>>. Acesso em: Agosto de 2017.

MOTA, Allan. *LM35 – Medindo temperatura com Arduino*. 2017. Disponível em: <<http://blog.vidadesilicio.com.br/arduino/basico/lm35-medindo-temperatura-com-arduino/>>.

Acesso em: Agosto de 2017.

INSTRUMENTS, Texas. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. 2016. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>. Acesso em: Agosto de 2017.

CABRAL, Leonardo. *Circuito Divisor de Tensão*. Disponível em: <http://nerdeletrico.blogspot.com.br/2011/04/circuito-divisor-de-tensao.html>>. Acesso em: Agosto de 2017.

BRAGA, Newton. *Circuitos Sensores de Corrente (ART841)*. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/57-artigos-e-projetos/circuitos-sensores-de-corrente>>. Acesso em: Agosto de 2017.

SEMING, Pete; WELLS, Collin. *A Corrente Sensing Tutorial*. 2012. Disponível em: <http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1279415>. Acesso em: Agosto de 2017.