



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**BRYAN DOUGLAS PINHEIRO**

**CARREGADOR PARA BATERIAS DE ÍON DE LÍTIO**

Palhoça  
2020

**BRYAN DOUGLAS PINHEIRO**

**CARREGADOR PARA BATERIAS DE ÍON DE LÍTIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Anderson Soares André, Dr. Eng.

Palhoça

2020

**BRYAN DOUGLAS PINHEIRO**

**CARREGADOR PARA BATERIAS DE ÍON DE LÍTIO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, (dia) de (mês) de (ano da defesa).

---

Professor e orientador Anderson Soares André, Dr. Eng.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. Anelise Leal Vieira Cubas, Dra.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. Fábio Ignácio da Rosa, Especialista.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

Agradeço e dedico este trabalho aos meus pais.  
Esta monografia é a prova de que todo seu  
esforço e dedicação valeram a pena.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho é o resultado de um esforço coletivo, que se desenvolveu durante toda a minha caminhada acadêmica. Dessa forma, é com grande alegria que dedico esse espaço para lembrar de todas as pessoas que semearam, e cultivaram, a árvore que hoje tenho a oportunidade de colher os seus frutos.

Sou grato por todas as dificuldades que tive, porque para resolvê-las tive a ajuda de meus pais, que sempre estiveram comigo durante todo o tempo que me dediquei aos estudos. De igual sorte, quero agradecer a alguns familiares mais próximos que com palavras de incentivo e momentos de descontração, fizeram essa árdua jornada se tornar mais leve.

Dedico esse trabalho também aos professores que se desdobraram para responder minhas perguntas, que muitas vezes nem eu mesmo sabia formular. As incontáveis conversas e dúvidas respondidas no corredor a caminho da sala de aula foram verdadeiras aulas.

Neste trabalho também estão presentes todos os colegas que de algum modo me ajudaram a chegar até esse momento, fosse aquele que sabia a matéria ou o que dava um exemplo nada ortodoxo. Se existe a possibilidade de aprender rindo, por que aprender diferente?

E mais uma vez meu muito obrigado a todos que trilharam esse caminho ao meu lado, seja me ensinado ou aprendendo juntos.

“O ignorante afirma, o sábio dúvida, o sensato reflete”. (Aristóteles).

## RESUMO

Este trabalho tem como proposta apresentar o estudo e o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de baterias de íon de lítio, tendo início com uma breve pesquisa sobre suas características e aplicações. Descreve ele metodologias de carregamento, que auxiliam na compreensão do estado de vida das baterias, apenas com a análise de informações como tensão, corrente e temperatura. Apresenta algumas topologias de conversores de corrente e tensão, que possam ser utilizadas para recarregar baterias recicladas. Também aborda o projeto e o desenvolvimento do circuito carregador de bateria, seu desenvolvimento teórico, matemático e simulação que se faz necessária.

Tal pesquisa tem como principal objetivo o desenvolvimento de um material de pesquisa sobre carregadores de bateria de íon de lítio.

**Palavras-chave:** Bateria 1. Íon de Lítio 2. Carregador 3.

## ABSTRACT

This undergraduate thesis aims to present the study and development of a lithium battery management system, starting with a brief study on its characteristics and applications. Describing charging methodologies, which assist in the understanding of the battery's state of life, only with the analysis of information such as voltage, current and temperature. It presents some topologies of current and voltage converters, which can be used to recharge recycled batteries. It also addresses the design and development of the battery charger circuit, and its theoretical, mathematical and simulation development. Such search has as main objective the development of a research material about lithium ion battery chargers.

**Keywords:** Battery 1. Lithium ion 2. Charger 3.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Composição de uma bateria chumbo acida.....	18
Figura 2 – Bateria de Níquel Metal Hidreto. ....	19
Figura 3 – Bateria de sódio-níquel. ....	20
Figura 4– Bateria de Íon de Lítio. ....	22
Figura 5– Características de operação da bateria. ....	23
Figura 6– Características de carga da bateria. ....	24
Figura 7 – Ciclo de vida da bateria.....	24
Figura 8 - Método a Duplo de Tensão.....	27
Figura 9 – Método a dois níveis de corrente e um nível de tensão.....	28
Figura 10 – Método a dois níveis de corrente. ....	28
Figura 11 – Placa eletrônica de um BMS. ....	29
Figura 12 – Estrutura geral do BMS.....	30
Figura 13 – Fluxograma do bloco SOC.....	31
Figura 14 – Esquema educativo de informação dos blocos.....	32
Figura 15 – (a) Estrutura do conversor Buck-Boost. (b) Etapas de funcionamento.....	34
Figura 16 – Principais formas de onda. ....	34
Figura 17 – (a) Estrutura do conversor Cúk. (b) Etapas de funcionamento .....	35
Figura 18 – Principais formas de onda. ....	36
Figura 19 – (a) Estrutura do conversor. (b) Etapas de funcionamento.....	37
Figura 20 – Circuito integrado 7805. ....	38
Figura 21 – Esquemático do circuito 7805.....	39
Figura 22 – Esquemático do circuito simulado no programa Protheus.....	40
Figura 23 – Raspberry PI.....	42
Figura 24 – Shield LCD .....	43
Figura 25 – Raspberry com shield do LCD.....	44
Figura 26 – Menu principal do programa BMS. ....	44
Figura 27 – Gráfico da tensão do banco de baterias.....	45
Figura 28 – Gráfico da corrente do banco de baterias.....	45
Figura 29 – Gráfico da temperatura do banco de baterias.....	46
Figura 30 – Componente eletrônico LM 35 .....	47
Figura 31 – Componente eletrônico 7805 .....	47

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	12
1.2	OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
1.3	JUSTIFICATIVA .....	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1	BATERIA .....	16
<b>2.1.1</b>	<b>bateria de chumbo-ácido .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2</b>	<b>bateria à base de níquel .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3</b>	<b>bateria DE Alta Temperatura .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4</b>	<b>bateria de Manganês de lítio .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.5</b>	<b>bateria de Íon de lítio .....</b>	<b>21</b>
2.1.5.1	Modelo escolhido .....	21
2.1.5.2	Parâmetros analisados .....	22
<b>2.1.6</b>	<b>reciclagem .....</b>	<b>25</b>
2.2	MÉTODOS DE GESTÃO DE BATERIAS .....	26
<b>2.2.1</b>	<b>Métodos de Carga.....</b>	<b>26</b>
2.2.1.1	Método De Carga Com Duplo Nível De Tensão.....	26
2.2.1.2	Método a Dois Níveis de Corrente e Um Nível de Tensão .....	27
2.2.1.3	Método a Dois Níveis de Corrente .....	28
2.2.1.4	Método a Um Nível de Corrente e Um Nível de Tensão .....	29
<b>2.2.2</b>	<b>Sistema de Gestão de Baterias.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Estado de vida.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Estado de carga.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.5</b>	<b>profundidade de descarga .....</b>	<b>32</b>
2.3	TOPOLOGIA DE CARREGADORES .....	33
<b>2.3.1</b>	<b>descrevendo algumas topologias .....</b>	<b>33</b>
2.3.1.1	Conversor Buck-Boost .....	33
2.3.1.2	Conversor Cúk.....	35
2.3.1.3	Conversor Zeta .....	36

2.3.2 Regulador de tensão .....	37
<b>3 VALIDAÇÃO DA TEORIA .....</b>	<b>40</b>
3.1 SIMULAÇÃO DO CIRCUITO .....	40
<b>4 SISTEMA DIGITAL .....</b>	<b>42</b>
4.1 COMPONENTES .....	42
4.1.1 Raspberry PI.....	42
4.1.2 LM 35 .....	46
4.1.3 Regulador de tensão.....	47
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO A – PROGRAMA ADC .....</b>	<b>52</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O convívio com equipamentos eletrônicos no dia a dia do cidadão torna-se cada vez mais comum, deixando de ser algo exclusivo para o aumento da eficiência no ambiente de trabalho, tornando-se, por consequência, algo indispensável. Isso se intensifica também pelo início da Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e automação de funções diárias simples (Carayannis, 2018).

Devido a essa tendência expansionista do uso de novos equipamentos e a busca por novas tecnologias, acabou-se agravando o problema de geração do e-lixo, como também é chamado o lixo eletroeletrônico. Esse problema vem sendo estudado desde a manufatura dos equipamentos pelas fabricas até o consumo, que por sua vez acabam gerando muitos resíduos tóxicos. Para que não se agrave o problema ambiental com o descarte de produtos eletroeletrônicos de forma inadequada, vêm sendo implantados pontos de coleta desses equipamentos, bem como o estudo da melhor forma de se reutilizar parte dos mesmos (Ferreira, 2010).

Um dos elementos que faz parte desses equipamentos e pode ser reaproveitado é a bateria que, na maioria das vezes, é descartada junto ao aparelho. Esse descarte, muitas vezes, é feito de forma inconsciente, já que traz um prejuízo a natureza, devido à poluição causada.

No entanto, isso vem mudando, pois o aumento de dispositivos móveis e a busca por maior disponibilidade de energia para esses equipamentos, fez com que as pessoas repensassem ao descartar tais baterias, já que a vida útil das mesmas pode ser maior que a dos equipamentos. Sendo assim, é possível reutilizá-las não apenas para novos dispositivos, mas também em diversas outras aplicações.

Desta forma, se faz necessário a criação de sistemas que integrem as baterias reutilizadas a novos equipamentos, reduzindo-se o impacto ambiental, tendo como um bom exemplo o desenvolvimento de sistemas off grid, composto por uma geração de energia limpa (solar ou eólica), e seu armazenamento através de um banco de baterias recicladas.

## 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Com o passar do tempo e com a evolução da microeletrônica, os dispositivos eletrônicos passam por um processo de miniaturização, como consequente redução de peso, volume e do número de componentes. Essa evolução também é impulsionada pela necessidade

de mobilidade, levando à necessidade de uso de baterias recarregáveis, encurtando o ciclo de obsolescência dos equipamentos.

Conforme Troltsch (2006, Acta 51):

Atualmente, a tecnologia mais utilizada nas baterias dos aparelhos portáteis é a de íons de lítios, principalmente, devido à sua grande densidade de energia que, atualmente, é considerada a maior dentre os diferentes tipos comercialmente disponíveis. Dessa forma, um número crescente de equipamentos, como tablets, celulares, notebooks, veículos elétricos, dentre outros, fazem uso desta tecnologia de armazenamento.

Um dos problemas que vem sendo encontrados nos dispositivos portáteis, como os citados anteriormente, é o fato de que as baterias possuem um número de ciclos de carga e descarga limitados, possibilitando prever o seu tempo de vida. Segundo Troltsch et al.1, o principal mecanismo de envelhecimento é o crescimento de um filme superficial, também conhecido como interface eletrólito sólido (SEI), no eletrodo negativo. Outros efeitos físicos ocorrem ao longo do tempo, que afetam a condutividade do eletrólito e, portanto, aumentam a resistência interna. Assim, anualmente um grande número de baterias de íons de lítio são descartadas.

Desse modo, tem-se como a pergunta da presente pesquisa o seguinte questionamento: como reutilizar células de baterias de íons de lítio cuja capacidade não tenha sido esgotada?

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos geral e específico deste trabalho são apresentados a seguir.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de um circuito eletrônico capaz de carregar um conjunto de 12V de baterias de Íon de Lítio do tipo BRC 18650.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste projeto são:

- a) fazer o estudo das topologias utilizadas atualmente nos carregadores de baterias de íon de lítio;
- b) selecionar a topologia adequada para aplicação de baixo custo;
- c) desenvolver um sistema digital;
- d) supervisionar o estado das baterias.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Desde a década de 1990, intensificou-se a comercialização das baterias de íon-lítio que, atualmente, estão presentes na maioria dos aparelhos eletrônicos portáteis, como laptops, filmadoras, GPS, celulares, MP3, palmtops, brinquedos eletrônicos, câmeras fotográficas e outros (Ecycle, 2020).

Este tipo de bateria tem sido amplamente utilizado por apresentar vantagens importantes quando comparadas com outras tecnologias, sendo a principal delas a alta densidade de energia, ou seja, a possibilidade de se armazenar mais energia do que as outras (baterias de íon-lítio pode armazenar até três vezes mais energia do que baterias cádmio-níquel, considerando o mesmo volume), apresentando, ainda, um baixo peso. Além disso, também apresenta ausência de efeito de memória, carregamento mais rápido e potencial de poluição menor quando comparado às baterias de níquel-cádmio.

Assim, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um circuito eletrônico capaz de carregar baterias usadas, de forma segura e eficiente, visando reaproveitar as unidades capazes de armazenar energia, evitando que possam ser descartadas de forma inadequada, diminuindo assim, a quantidade de componentes eletrônicos em lixões, além de tornar mais acessível à implementação de sistemas elétricos isolados com o auxílio da geração de energias renovável.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo apresenta-se o projeto, expondo uma breve contextualização sobre a problemática vislumbrada, assim como os objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo aborda o estudo bibliográfico, a partir das principais características da bateria de Íon de Lítio, com base em sua aplicação eletroeletrônica, e como o seu reaproveitamento pode impactar de forma direta e indireta o meio ambiente.

Em seguida, trata do estudo sobre a metodologia de carregamento das baterias e gestão de carga, seguido das topologias de carregadores de baterias mais utilizadas, de forma substancial, dando ênfase a mais adequada ao objetivo do projeto.

É no terceiro capítulo que está presente a simulação e os cálculos que validam a parte teórica do projeto.

O capítulo 4 trata do desenvolvimento de um sistema digital de gerenciamento de carga para um Pack de baterias de 12V formado por células de Íon de Lítio para a aplicação em sistemas off grid.

No quinto capítulo as conclusões e trabalhos futuros são apresentados com um breve resumo do que se obteve durante o desenvolvimento do projeto.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo será destinado ao estudo da arte das partes envolvidas ao sistema de gerenciamento de carga de uma bateria. Abordando alguns modelos de bateria sua composição química e principais características. Bem como, a importância do estudo de reciclagem das baterias para o meio ambiente.

Traz também, a gestão de carga e o gerenciamento de potência em um sistema de armazenamento de energia. Além de apresentar algumas metodologias de conversores de tensão.

### 2.1 BATERIA

Os dispositivos de armazenamento eletroquímico usados em equipamentos eletrônicos são dimensionados de acordo com a potência, tensão e corrente de funcionamento do mesmo. Assim, este capítulo tem por objetivo apresentar o modelo de bateria mais utilizado em equipamentos portáteis, através da descrição de suas características químicas e elétricas, como também a comparação com outros modelos de baterias.

Estes dispositivos de armazenamento de energia utilizam-se da oxirredução dos elementos químicos presentes para fornecer corrente elétrica a um elemento externo. Dessa forma, as extremidades da bateria ficam polarizadas, sendo uma negativa (ou ânodo) e uma positiva (ou cátodo), possibilitando que os elétrons se movimentem entre elas.

E para que a mesma possa funcionar de forma satisfatória, deve seguir alguns pré-requisitos:

- a) Alta energia específica, capacidade de carga
- b) Alto poder específico, velocidade de carga e descarga
- c) Longa vida útil livre de manutenção
- d) Operação segura sob uma ampla gama de condições
- e) A eliminação no fim da vida tem um impacto ambiental mínimo
- f) Alta eficiência nos ciclos de carga e descarga.

Esses pré-requisitos se aplicam aos diversos tipos de baterias existem, tais como: baterias de chumbo-ácido, níquel-hidreto de metal (NiMH), cloreto de sódio-níquel (NaNiCl ou Zebra), ar-ar (Al-ar) e de zinco-ar (Zn-ar), as baterias à base de lítio, entre outras.

Cada tipo de bateria tem sua aplicação. Algumas precisam permanecer a maior parte do tempo carregadas, como, por exemplo, a de chumbo-ácido, outras tem sua maior eficiência operando em temperaturas elevadas, como a de cloreto de sódio-níquel. Uma tecnologia mais recente de baterias é a de íon de lítio, sendo capaz de suportar vários ciclos completos de descarga, se destacando, assim, por conter o melhor desempenho de armazenamento de energia relacionando sua potência pelo volume.

Pelas características apresentadas acima, atualmente as baterias de íon de lítio são as mais utilizadas em equipamentos portáteis e de grande desempenho. Assim, para se buscar um melhor entendimento das principais propriedades deste tipo de bateria, o próximo item deste trabalho irá tratar de suas características elétricas e de uso, como: tensão, corrente e temperatura. Esses parâmetros levam em consideração o desenvolvimento de um carregador para a aplicação em sistemas off grid, considerando os benefícios ambientais da reutilização dessas baterias.

Vale também registrar que os componentes químicos armazenadores de energia, em sua grande maioria, são conhecidos pelos elementos de maior abundância em sua estrutura, além de serem responsáveis pela reação química que tem como resultado a eletricidade. Assim, a seguir, são apresentados alguns tipos de acumuladores, cuja classificação é baseada nesta premissa.

### **2.1.1 Bateria de chumbo-ácido**

Embora seja considerada uma tecnologia madura, as baterias de chumbo-ácido não são aplicadas em equipamentos portáteis, devido a baixas densidades de energia, sensibilidade à temperatura e ciclo de vida relativamente curto. Ainda que progressos limitados tenham sido feitos em termos de energia e densidade de potência, como acontece com as baterias de ciclo profundo, na qual se reforçam os eletrodos, este tipo de bateria não apresenta características interessantes para aplicação em dispositivos leves. (Westbrook, 2001)

Como forma de melhor entender a composição de uma bateria de chumbo ácido, Ramon Figueira descreve as partes do conjunto da seguinte forma:

- Placas positivas e negativas - Composição entre grades metálicas e massa de material ativo responsável pelas reações químicas;
- Separadores - Envelopes que impedem o contato direto entre as placas;

- Conectores - Pequenas peças de chumbo que fazem as conexões entre os elementos da bateria;
- Solução de ácido sulfúrico - Usualmente composta por 35% de ácido sulfúrico e 65% de água destilada, é um elemento fundamental no processo das reações químicas;
- Caixa/Tampa - Composta de polipropileno (PP), tem por função acondicionar os elementos e a solução, isolando-os do contato com o exterior;
- Pólos positivo e negativo - Peças de chumbo que desempenham a função de terminais positivo e negativo da bateria, respectivamente.

Para melhor visualizarmos a descrição dessa bateria, a Figura 1 ilustra com indicações cada um de seus componentes.

Figura 1- Composição de uma bateria chumbo acida.



Fonte: Cabral (2013, p.3)

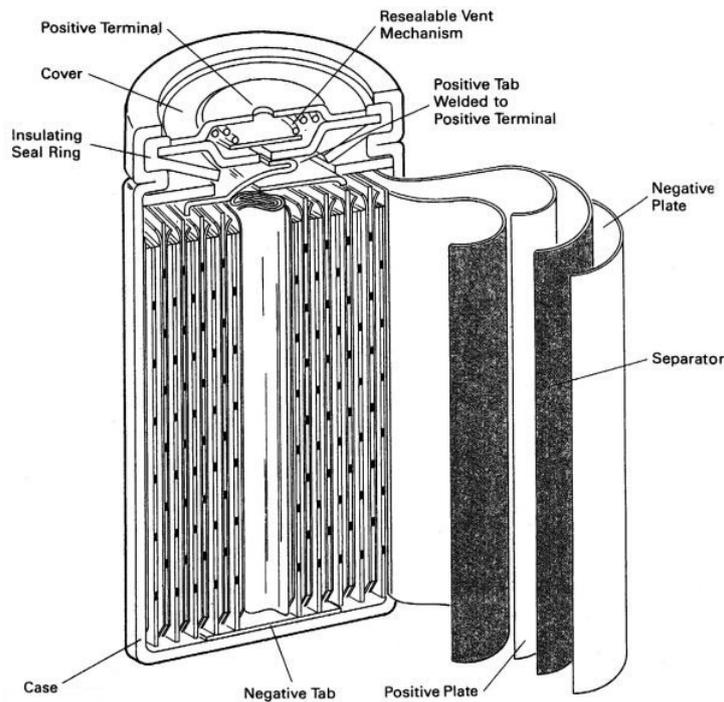
### 2.1.2 Bateria à base de níquel

Baterias de níquel-hidreto de metal (NiMH) são usadas extensivamente para fins de tração e são otimizadas para alto conteúdo de energia. As baterias de níquel-cádmio (NiCd) também apresentam bom potencial para alta energia e potência específica, embora a presença de cádmio tenha levantado algumas preocupações ambientais, que acabam afetando sua aplicação. (Van den Bossche, 2005)

De acordo com a Fandom Lifestyle Community esta bateria também está entre as mais seguras para ser manuseada por usuários inexperientes, em aplicações diárias de equipamentos eletrônicos e, até mesmo, durante o tempo de recarga.

O modelo de uma dessas baterias utilizadas em dispositivos de baixa potência têm seus componentes físicos indicados como mostra a Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Bateria de Níquel Metal Hidreto.



Fonte: bmet.fandom.com (2020)

### 2.1.3 Bateria de alta temperatura

As baterias de cloreto de sódio-níquel (NaNiCl ou Zebra) foram utilizadas em várias aplicações de veículos elétricos, pois apresentam alta energia específica, garantindo boa autonomia. Entretanto, a alta temperatura de operação (300 °C) requer pré-aquecimento antes do uso, o que inviabiliza sua utilização em equipamentos domésticos e portáteis. Por este motivo, essa bateria é considerada mais adequada para aplicações em veículos elétricos de grande porte, podendo ser usada no transporte público, vans, caminhões, etc. (Electric cars, Lecture 2.1)

Segundo o Parque Tecnológico Itaipu (2020):

Do ponto de vista comercial, a bateria utiliza em sua composição matéria-prima abundante (níquel, ferro, óxido de alumínio e cloreto de sódio – sal de cozinha), de custo relativamente baixo e quimicamente seguro (elementos não reativos no estado descarregado e reações químicas de neutralização em condição de falha), além de terem reciclabilidade.

Um modelo comercial dessa bateria é apresentado na Figura 3, sendo possível observar que apesar de ser uma tecnologia segura. Todo o seu invólucro, assim como o lacre, são de metal.

Figura 3 – Bateria de sódio-níquel.



Fonte: [pti.org.br](http://pti.org.br) (2020)

#### 2.1.4 Bateria de manganês de lítio

O manganês de lítio oferece uma solução potencialmente de baixo custo e tem sido estudada, especialmente, para aplicação em veículos elétricos, não sendo, atualmente, uma opção interessante para o presente trabalho. A principal desvantagem deste tipo de bateria é a sua baixa duração, devido à ligeira solubilidade do manganês.

Segundo a Sociedade Brasileira de Química a aplicação do manganês em baterias de lítio tem sido uma boa alternativa para substituir o níquel e o cobalto no ponto de vista ambiental.

### 2.1.5 Bateria de íon de lítio

A bateria de Íon de Lítio (Li) recebe esse nome pois esses elementos químicos são encontrados tanto do lado ânodo ( $\text{LiCoO}_2$ ) quanto do cátodo ( $\text{LiC}_6$ ), sendo esta composição responsável por possuir um dos melhores fatores de Watt hora por peso (Wh/kg), destacando-se como o tipo de bateria mais utilizado para aplicações em projetos móveis.

Com o passar do tempo, essa tecnologia de armazenamento de energia acabou sofrendo grandes mudanças e aprimoramento, tornando-a cada vez mais confiável e eficiente. Sendo a mudança do eletrólito da bateria, de líquido para gelatinoso, conhecido como “*water-bilast*” (WiBS) (Lengevin, 2019), a que trouxe a mudança mais significativa, pois a bateria continua funcionando até mesmo depois de ser cortada, assim como deixou de entrar em combustão quando exposta ao fogo (Hopkins, 2020).

Todos os estudos e aprimoramento feitos nesse dispositivo de armazenamento tiveram como foco a sua aplicação, sendo o carro elétrico uma das áreas de aplicação em grande escala. Essa aplicação faz uso constante de todas as características dessa bateria, pois existe uma grande demanda de energia combinado com a necessidade de pouco peso, sendo ela constantemente exposta a danos físicos quando, por exemplo, o carro que a utiliza sofre um acidente.

Devido ao grande esforço energético exigido das baterias para a aplicação em veículos, as mesmas devem ser substituídas periodicamente como exigido por seus fabricantes, antes mesmo do fim de sua vida útil, deixando de comprometer o sistema, e servindo para outras aplicações.

Isso demonstra que essas baterias são extremamente confiáveis e versáteis, apesar de a bateria em questão se enquadrar no modelo AAAA, cada fabricante desenvolve seu próprio modelo, diferentemente do que acontece com as pilhas de 1,5V do tipo AA ou AAA e nas de 9V do tipo E (Wikipedia, 2020), tornando seu reaproveitamento difícil.

#### 2.1.5.1 Modelo escolhido

Com a análise de conjuntura do meio social a qual a instituição de ensino se faz presente, se optou por utilizar as baterias de laptops modelo ICR 18650, onde a letra “I” representa o elemento Lítio, a letra “C” o elemento Cobalto e a “R” significa recarregável. Já

os referidos números correspondem ao diâmetro (18mm) e comprimento (65mm) em milímetros respectivamente.

Apesar do modelo dessa bateria ser diferente da encontrada nos carros, sua tecnologia de fabricação é a mesma, atribuindo isso ao fato de ser encontrada em quantidade e possuir características elétricas e físicas, que possibilitam a construção de arranjos série-paralelo, flexibilizando, assim, sua aplicação em diversos projetos.

Logo abaixo a Figura 4 apresenta uma bateria de íon de lítio presente nos laptops. Essas baterias passam a ser chamadas de células em muitas bibliografias apenas quando são agrupadas em série paralelo, formando, assim, um conjunto (também conhecido como pack).

Figura 4– Bateria de Íon de Lítio.



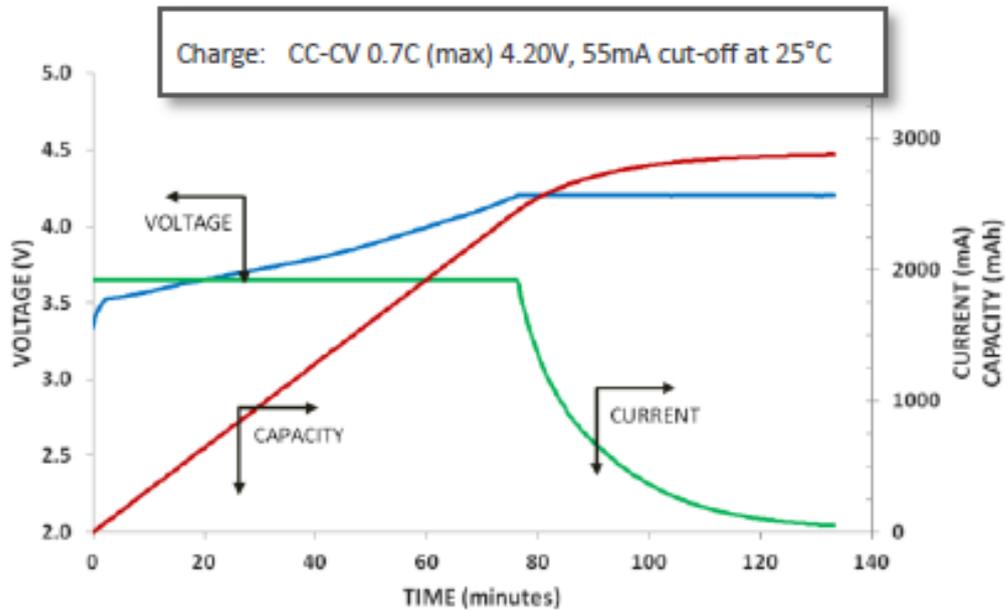
Fonte: Makerlab-Eletronics (2019).

#### 2.1.5.2 Parâmetros analisados

Além da grande quantidade de baterias descartadas encontrarem-se em bom estado de uso, outro fator importante que levou a escolha desse modelo foram seus valores de tensão e corrente. Como mencionado anteriormente, cada fabricante produz sua bateria ICR 18650 respeitando uma certa faixa de capacidade de corrente prevista entre 1500 a 3500 mAh.

Além disso, durante o estudo sobre a bateria de Íon de Lítio foi feito o levantamento dos dados necessários para o desenvolvimento deste projeto. Dando início, importante apresentar as características de carga de funcionamento da mesma, como mostra a Figura 5, onde é apresentado, em vermelho a curva de armazenamento de energia, em verde a curva da corrente e em azul a curva da tensão.

Figura 5 - Características de operação da bateria.



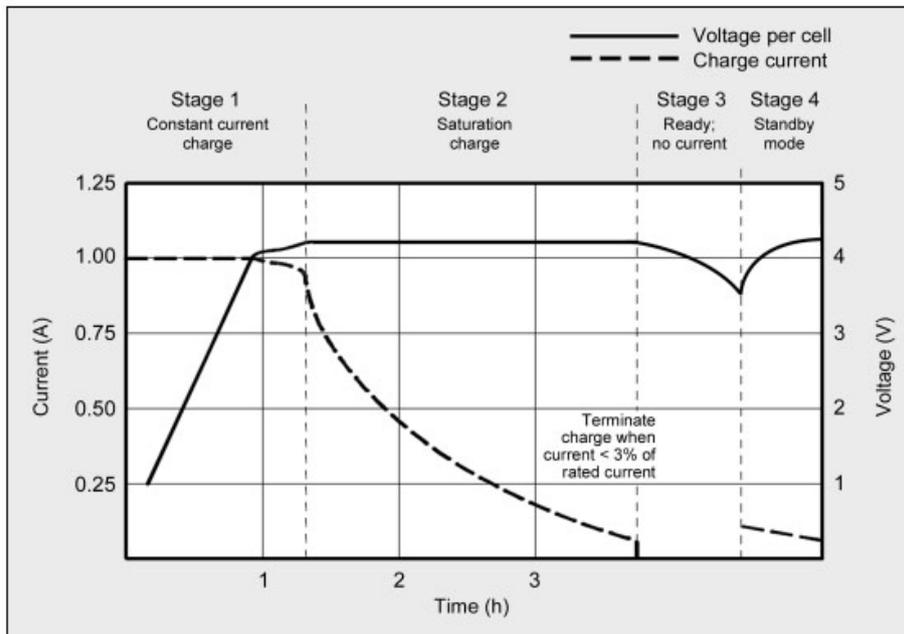
Fonte: Energy Company Panasonic (2012).

Esses dados são de fundamental importância para o projeto de um circuito capaz de carregar essas baterias, pois essas informações serviram como parâmetro inicial para o dimensionamento do carregador, que precisava ser capaz de manter a tensão de flutuação ou de plena carga em 4,2V e o gráfico também traz a corrente mínima de operação da bateria que é de 55mA.

Outras informações relevantes sobre a bateria e seu comportamento em modo de carregamento são apresentadas na

Figura 6, tendo os valores de tensão ao longo do tempo descritos pela curva contínua e os valores de corrente pela curva pontilhada. Pode-se observar que o ciclo completo de carga da bateria está dividido em quatro etapas. O primeiro estágio é caracterizado pela corrente constante; já, o segundo, pela tensão constante. O terceiro e quarto estágios fazem parte do ciclo de flutuação da bateria. No início do terceiro estágio a corrente zera e a tensão diminui levemente até o ponto pré-determinado, marcado pelo quarto estágio, onde a tensão volta a subir até a corrente zerar novamente, sendo que assim, sucessivamente, ocorre a consequente flutuação.

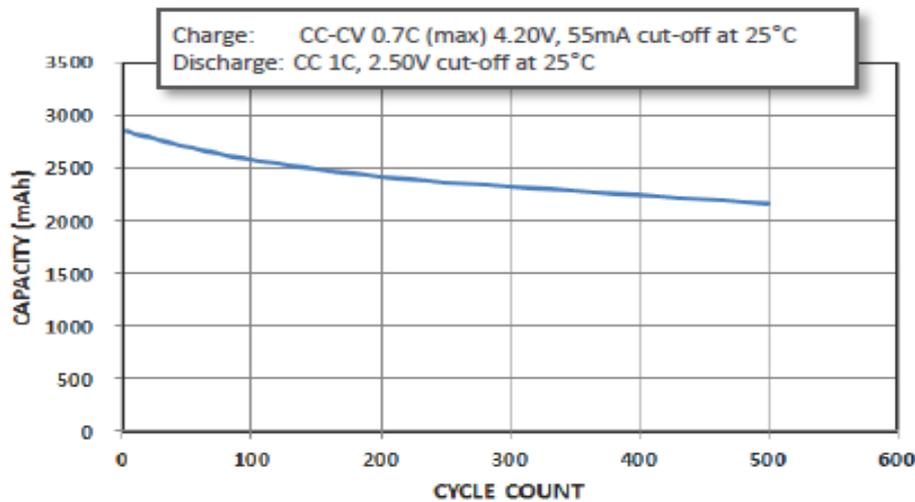
Figura 6 - Características de carga da bateria.



Fonte: Battery University (2018).

Outros dados importantes para a pesquisa são a temperatura de operação e o comportamento da capacidade de armazenamento de energia da bateria que são analisados em ciclos, sendo considerado um ciclo completo após a bateria ter sido descarregada e carregada novamente. Como ilustrado na Figura 7, a capacidade que a bateria tem para fornecer energia diminui com o aumento dos ciclos, representado pela curva decrescente em azul.

Figura 7 - Ciclo de vida da bateria.



Fonte: Energy Company Panasonic (2012).

Com todas as informações necessárias sobre o equipamento eletrônico que foi utilizado no desenvolvimento do projeto, restou ser executado um breve estudo sobre os impactos que essa tecnologia causa ao ambiente em que vivemos, e de que forma esse projeto pode interferir sobre esse aspecto.

### 2.1.6 Reciclagem

A popularidade dos dispositivos eletrônicos portáteis e a crescente produção dos mesmos levaram a um aumento no uso de baterias recarregáveis. Estes são frequentemente descartados mesmo antes do final de sua vida útil. Isso, por sua vez, leva a um grande desperdício de materiais e recursos naturais e à contaminação do meio Ambiente (Schneider, 2008).

Do mesmo modo com que o uso de dispositivos portáteis vem crescendo, outros bens de consumo vêm sofrendo mudanças com o avanço da tecnologia. Um exemplo disso é o carro, que durante décadas utilizou combustível fóssil como energia, e nos últimos tempos essa fonte vem sofrendo mudanças, como a troca de um motor a combustão por um elétrico.

Embora os veículos elétricos tenham potencial para reduzir o efeito estufa das emissões de gases do setor de transportes, um grande obstáculo em direção à sua adoção em larga escala tem sido o alto custo de baterias de íon-lítio (Axsen et al. 2010). Muitos estudos e suas análises técnicas estimam que no final de sua vida útil em veículos elétricos, as baterias ainda teriam 80% (oitenta por cento) de sua capacidade original intacta (Hoffart, 2008). Embora insuficiente para aplicação automotiva, elas podem ser reutilizadas em aplicações estacionárias

que têm um limite de capacidade muito menor e, portanto, são aplicações menos exigentes (Hein et al. 2012).

Com análise nas informações coletadas sobre o desenvolvimento e uso das tecnologias de armazenamento de energia elétrica em relação ao impacto com o meio ambiente, assim como os pontos de referências descritos por Kirti (2015, Assessing and managing life cycles of electric vehicles), onde:

...dois meios do sistemas foram analisados em conjunto para tratar da consideração de grupos de partes interessadas correspondentes a ambos; primeiro a bateria (Veículo elétrico) e segundo a vida útil (armazenamento de energia estacionária). O critério de viabilidade ambiental foi definido por uma bateria de Íon de Lítio com densidade de carga equivalente a de ácido-chumbo(PbA).

é possível determinar um ponto de referência para tratar qual a melhor tecnologia de bateria deve ser usada no desenvolvimento do presente projeto, tornando-o sustentável e eficiente em custo e espaço, já que as baterias de Íon de Lítio são muito menores.

## 2.2 METODOS DE GESTÃO DE BATERIAS

Este item discutirá as principais características dos sistemas de gestão de bateria e os métodos de carregamento encontrados na literatura.

### 2.2.1 Métodos de Carga

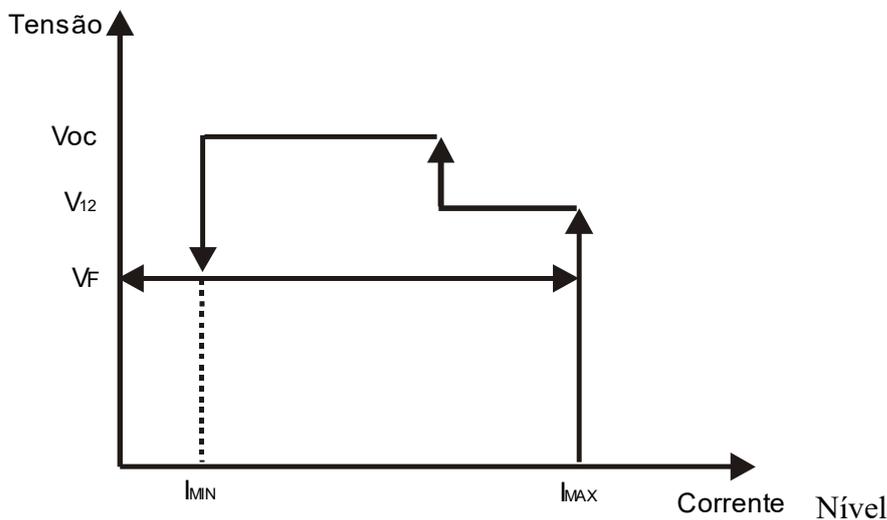
Os métodos de carga de baterias podem variar e dependem de vários parâmetros, sendo o tempo de carga um fator fundamental. Um carregamento adequado requer o uso sensores de corrente, para evitar que valores de corrente acima do máximo suportável sejam impostos na carga. A temperatura da bateria em carga também deve ser monitorada, pois o aquecimento pode reduzir a vida útil ou, em casos extremos, causar incêndios.

Alguns métodos de carga ainda possuem sequências de carga com tensões e corrente determinadas, exigindo que além da monitoração de tensão e corrente, se tenha um algoritmo de sequência de aplicação desses valores em tempos determinados e sobre certas condições da própria bateria sob carga. (Kefas, 2000)

### 2.2.1.1 Método De Carga Com Duplo Nível De Tensão

De acordo com Kefas, este método de carga consiste de três estágios distintos. No primeiro estágio, a corrente é imposta a um valor máximo até que a tensão sobre a bateria alcance uma tensão de sobrecarga  $V_{12}$ . No segundo estágio aplica-se uma tensão constante  $V_{OC}$ , 5% (cinco por cento) maior do que a tensão de sobrecarga, com o objetivo de dar uma sobrecarga à bateria. A corrente decresce até atingir um valor de corrente chamado corrente de retenção mínima  $I_{min}$ . Ao final do segundo estágio, a bateria alcançou perto de 100% (cem por cento) de sua capacidade, devendo ser submetida a uma tensão de flutuação fixa ( $V_F$ ).

Figura 8 - Método a Duplo de Tensão.



Fonte: Kefas (2000).

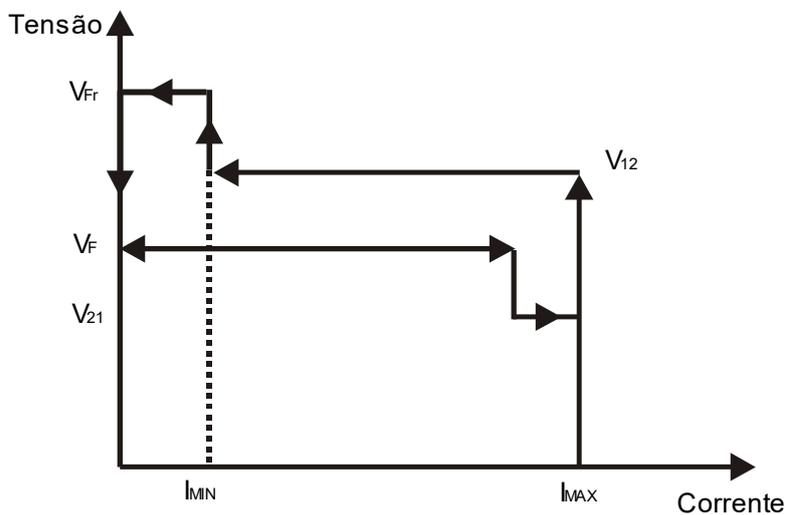
Este método pode ser melhorado através do uso de algoritmos de monitoramento das variáveis que estão sendo controladas, como corrente, tensão e temperatura.

### 2.2.1.2 Método a Dois Níveis de Corrente e Um Nível de Tensão

Este método é interessante para bancos de baterias divididos em várias células colocadas em série. Nesta situação é difícil prever somente pelo nível de tensão do banco se existe alguma célula ainda descarregada, ou se todas as células estão sendo carregadas uniformemente.

De acordo com Kefas, nesse método de carga têm-se 02 (dois) estágios de carga. No primeiro estágio mantém-se uma corrente constante, tipicamente em torno de 10% (dez por cento) da corrente nominal, até atingir uma determinada tensão sobre a bateria ligeiramente superior a tensão nominal, mas sem chegar a uma tensão de sobrecarga. No segundo estágio é mantida uma tensão constante, até a corrente atingir o valor da corrente de retenção (próximo a 5% da corrente nominal). Quando a corrente atinge este valor, esta é mantida então constante e a tensão volta a crescer até que ela se estabilize. Estabilizada a tensão, a corrente torna-se nula, e a tensão passa a ser regulada em um nível de tensão de flutuação até que caia novamente a limites inferiores a  $V_{12}$ , quando então volta-se ao estado de recarga, impondo corrente.

Figura 9 - Método a dois níveis de corrente e um nível de tensão.

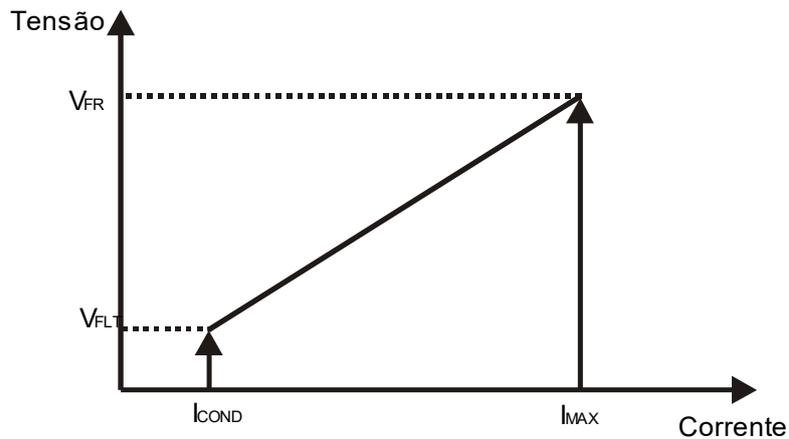


Fonte: Kefas (2000).

### 2.2.1.3 Método a dois níveis de corrente

Trata-se de uma variação do método anterior, porém, com funcionamento mais simples. São impostos somente dois níveis de corrente sem impor nenhum nível de tensão. O primeiro nível de corrente é aplicado para que a carga da bateria retorne a 90% (noventa por cento) de sua capacidade. O segundo nível é aplicado para compensar uma eventual reação de auto descarga. Segundo Kefas, este método tem a desvantagem de poder impor uma corrente de retenção muito baixa ou muito alta, produzindo perda de capacidade ou sobrecarga na bateria.

Figura 10 – Método a dois níveis de corrente.



Fonte: Kefas (2000).

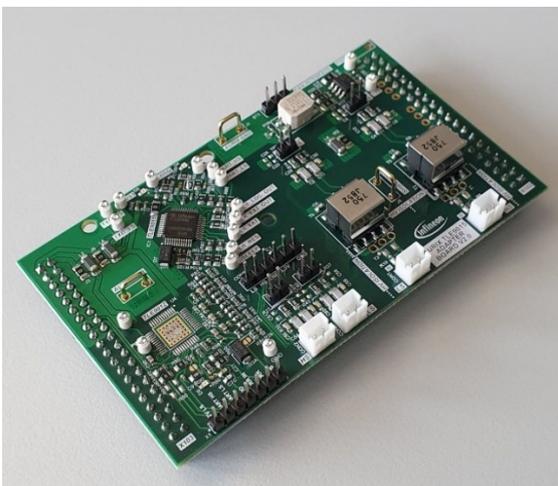
#### 2.2.1.4 Método a Um Nível de Corrente e Um Nível de Tensão

Neste método de carga tem-se também dois estados. Num primeiro momento a corrente é mantida constante até que a tensão atinja o nível especificado. A seguir, no segundo estágio, aplica-se um valor de tensão regulado, de forma a garantir a tensão de flutuação.

### 2.2.2 Sistema de Gestão de Baterias

Um sistema de gestão de baterias ou Battery Management System (BMS) é formado por todo e qualquer circuito eletrônico que seja capaz de monitorar o funcionamento da bateria, garantindo que a mesma opere sempre da melhor maneira possível, de modo a alongar sua vida útil ao mesmo tempo que previne danos ao usuário.

Figura 11 – Placa eletrônica de um BMS.

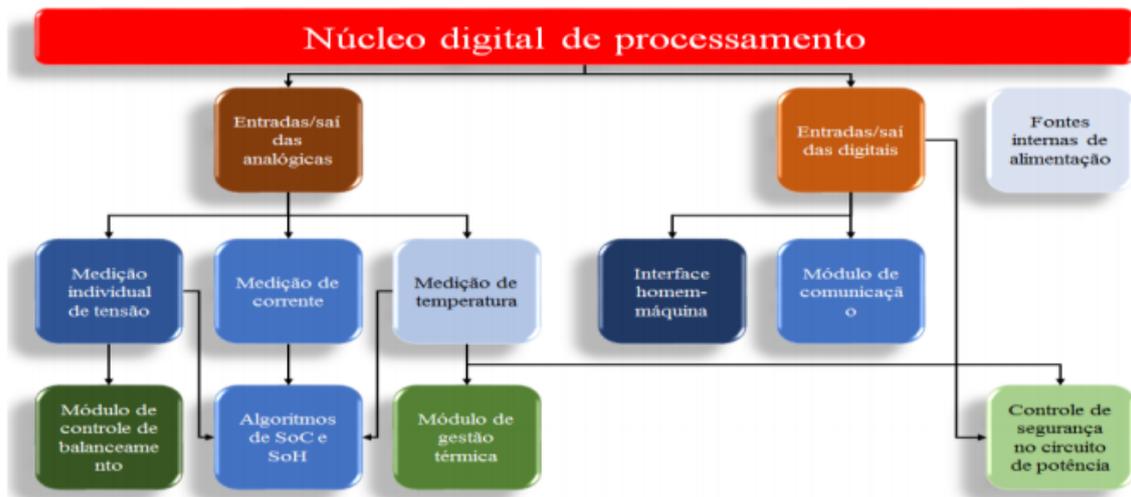


Fonte: Infineo Technologies (2020).

Esse sistema, pode ser composto por um ou mais blocos autônomos, onde cada um sendo responsável por verificar e gerenciar constantemente os parâmetros da bateria, tais como tensão corrente e temperatura (IEEE vol. 60, 2011).

Tais valores podem ou não ser compartilhados entre os blocos, sendo fundamental para a confiabilidade do sistema de gestão da bateria que o mesmo colete e faça a utilização do maior número possível de parâmetros. Por outro lado, quanto maior o sistema mais complexo e caro ele se torna.

Figura 12 – Estrutura geral do BMS.



Fonte: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar [17] (2018).

Para contornar um pouco o problema de custo no desenvolvimento desse sistema, muitas aplicações do BMS agrupa as baterias em um pack e utiliza o valor do somatório dessas baterias, tornando a medida imprecisa, além de fazer com que o sistema pare de funcionar e indique ao usuário a necessidade de troca do pack, causando o descarte de baterias em bom estado.

A seguir, serão apresentados os três blocos mais utilizados para o desenvolvimento de um sistema de gestão de baterias.

### 2.2.3 Estado de vida

Este bloco é responsável pela análise do tempo de vida da bateria, também conhecido como State of Health (SOH), sua função é informar ao usuário o valor, em porcentagem, da quantidade de carga que a bateria consegue armazenar.

Para que isso seja possível, este bloco recebe os valores dos sensores de tensão, corrente e temperatura. Tais valores substituem as variáveis de um algoritmo matemático responsável por determinar a capacidade de armazenamento da mesma.

Esta informação indica 100% (cem por cento), quando a bateria está nova, sendo que com o decorrer dos ciclos essa porcentagem vai diminuindo, indicando que a mesma perdeu capacidade de armazenamento.

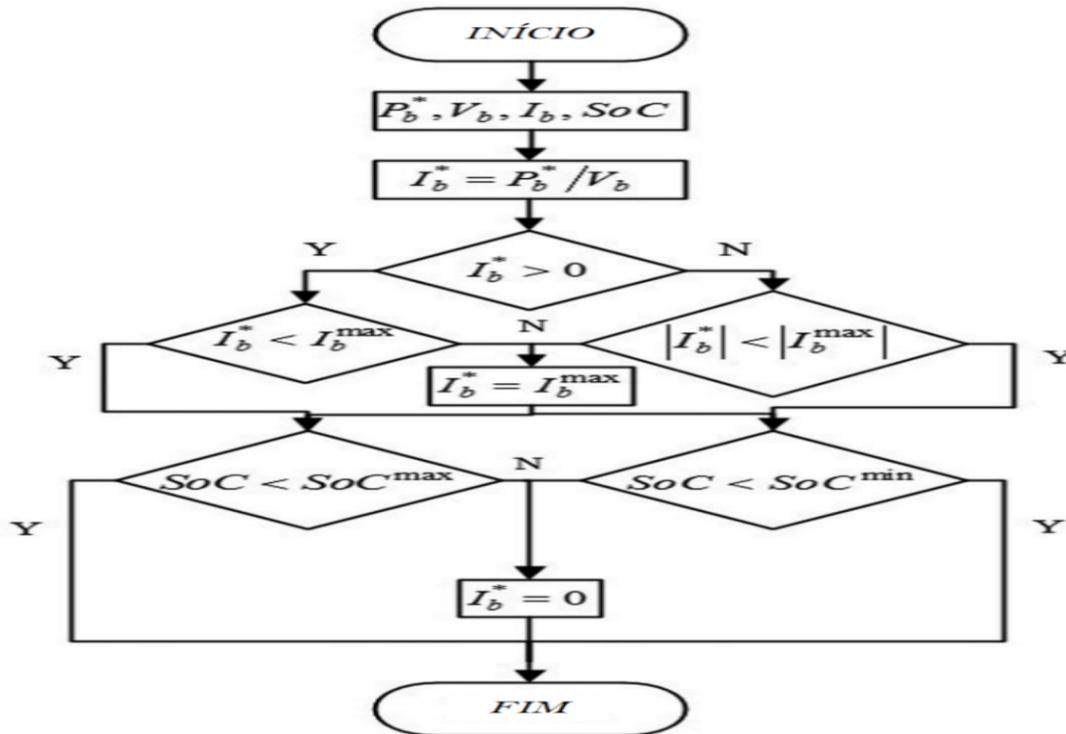
Para complementar as informações sobre a bateria e ter maior confiabilidade e robustez, o BMS faz uso de outros blocos de controle de carga.

### 2.2.4 Estado de carga

Assim como o SOH, o estado de carga ou State of Charger (SOC) é um bloco do gerenciamento de carga de bateria, este por sua vez é responsável por verificar o quanto de carga a bateria conseguiu armazenar durante a recarga atual, sendo este o indicador mais comum em equipamentos celulares e laptops. Encontrando se em cem por cento quando a carga está completa e zero por cento quando a bateria precisa ser recarregada.

Assim como o SOH este bloco também depende dos valores de algumas variáveis da bateria para calcular a porcentagem de carga que é indicado ao usuário. Desta forma e Figura 13 mostra um exemplo de lógica aplicado no SOC através de um fluxograma, que por sua vez traz as variáveis, onde as letras maiúsculas P, V e I, representam respectivamente potência, tensão e corrente, já a letra b minúscula indica que esses valores foram medidos na bateria, além disso o fluxograma mostra como são feitas as comparações entre as variáveis.

Figura 13 – Fluxograma do bloco SOC



Fonte: Infineo Technologies (2020).

Até esse momento o estudo dos blocos do sistema de gestão da bateria foi visto o SOH como o responsável por medir o quanto a bateria perdeu de sua capacidade de carga total, e o SOC que mede a situação atual da carga. Assim seguimos para mais um bloco do sistema.

### 2.2.5 Profundidade de descarga

O bloco que mede a profundidade de descarga também conhecido como Depth of Discharge (DOD) diferentemente dos anteriores, serve para determinar o quanto do potencial de descarga a bateria perdeu, ou seja, após vários ciclos de carga e descarga a bateria para de fornecer energia antes mesmo de sua porcentagem de carga atual indicar zero.

Mesmo ela contendo energia armazenada, algum problema na parte química da bateria faz com que ela não seja mais capaz de entregar essa energia para a carga, formando o que muitas vezes é chamado de cristalização.

De forma resumida, e para melhor entender o estudo feito sobre os três blocos responsáveis pelo BMS da bateria, a Figura 14 mostra, de forma simbólica, na parte superior o polo positivo e o ponto que será usado como referência de cem por cento de carga.

Sendo assim, iniciando-se pelo estado de vida, aparecendo em vermelho na Figura 14, o mesmo é responsável por indicar o quanto a baterias deixou de ser eficiente ou diminuiu

a sua densidade de energia. Já o DOD aparece em azul na Figura 14, indicando o quanto e energia a bateria é incapaz de entregar. Esse valor, por sua vez, continua fazendo parte da densidade de armazenamento, porém não pode mais ser utilizado.

Por último o estudo de carga, indicado em verde na Figura 14, que mede o valor de carga instantâneo da bateria, mostrando a energia que a bateria tinha quando nova menos o valor de SOH. No entanto este valor inclui a profundidade de descarga, apesar de não poder ser utilizado.

Figura 14 – Esquema educativo de informação dos blocos.



Fonte: Próprio autor (2020).

## 2.3 TOPOLOGIA DE CARREGADORES

Neste capítulo serão apresentadas algumas topologias de conversores de tensão e um circuito integrado regulador de tensão. O objetivo desse estudo de caso é entender o comportamento dos sistemas, e a partir desse ponto encontrar uma solução mais simples e com menor custo de desenvolvimento.

### 2.3.1 Descrevendo algumas topologias

Essas topologias de conversão tido CC-CC, foram escolhidas pois apresentam um circuito simplificado e de fácil aplicação.

Serão abordadas as topologias:

- Buck-Boost
- Cúk
- Zeta

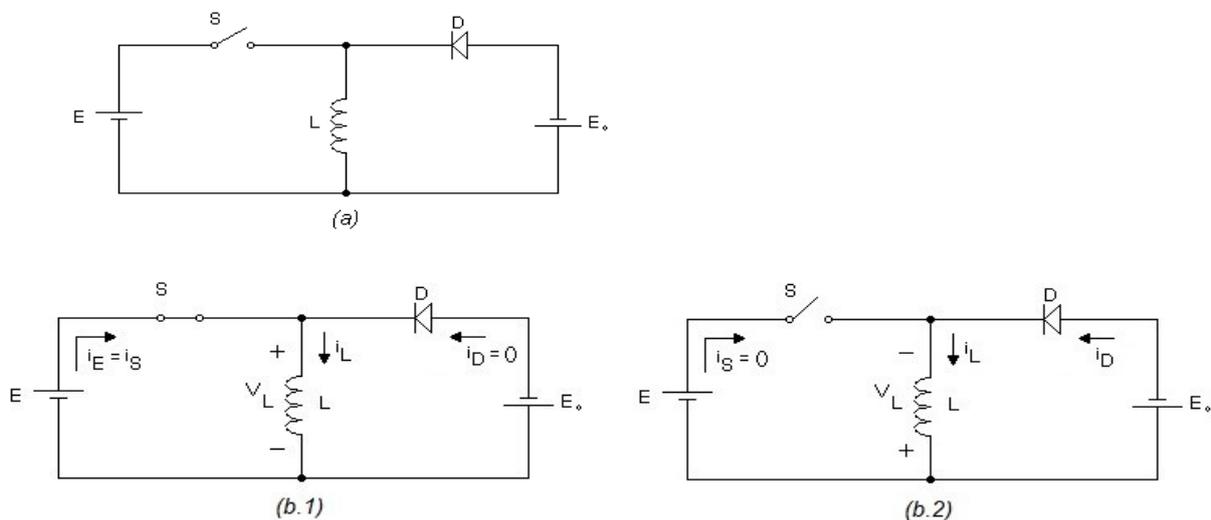
Essas topologias foram escolhidas por possuírem características de abaixador e elevador de tensão. Assim segundo Ivo Barbi “elas servem para controlar a fluxo de energia de mesma natureza entre a fonte e sua carga”.

### 2.3.1.1 Conversor Buck-Boost

O conversor Buck-Boost consiste da união entre o conversor Buck, abaixador de tensão, e o conversor Boost, elevador de tensão, formando uma nova topologia capaz de trabalhar transformando a tensão de saída tanto maior quanto menor que a da entrada.

Este tipo de topologia ainda apresenta uma característica de operação de controle de transferência de energia entre duas fontes de tensão, ou seja, a alimentação e a carga com característica de fonte de tensão. Logo abaixo a Figura 15 apresenta a topologia do circuito conversor e suas etapas de funcionamento.

Figura 15 – (a) Estrutura do conversor Buck-Boost. (b) Etapas de funcionamento



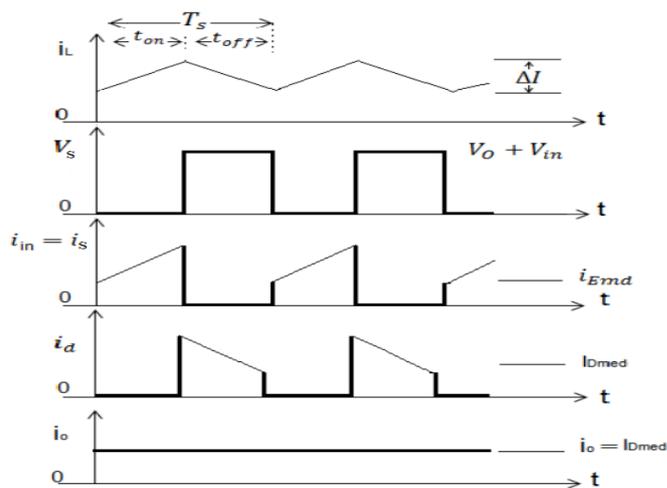
Fonte: Eletrônica de potência: Conversores CC-CC básico não isolados (2006).

A primeira etapa de funcionamento do conversor ilustra o circuito com a chave  $S$  fechada, possibilitando que o circuito armazene energia no indutor, formando a malha de alimentação. A próxima etapa mostra a chave  $S$  aberta, fazendo com que o indutor inverta a sua

polaridade e forneça energia para a carga  $E_o$ , com também, gere uma circulação de corrente através do diodo D.

Complementando a análise das etapas do circuito, a Figura 16 ilustra as formas de onda do sistema em operação contínua, de tensão e corrente sobre os principais componentes eletrônicos do circuito. Sendo possível identificar mais facilmente o comportamento dos mesmos em cada etapa de funcionamento do conversor.

Figura 16 – Principais formas de onda.



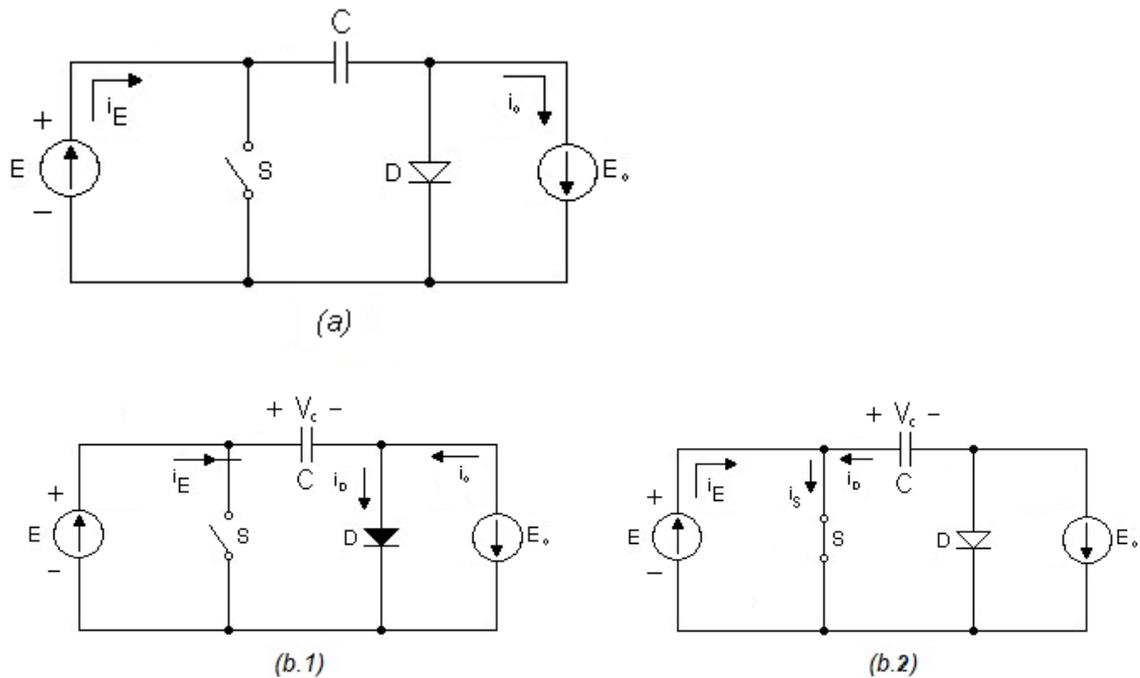
Fonte: Adaptada de Eletrônica de potência: Conversores CC-CC básico não isolados (2006).

### 2.3.1.2 Conversor Cúk

Este conversor apresenta algumas características muito similares ao Buck-Boost, já que ambos podem operar como abaixador e elevador de tensão. No entanto, como o seu elemento intermediária de armazenamento de energia é um capacitor, este circuito trabalha como um controlador de energia entre duas fontes de corrente.

Logo abaixo, na Figura 17 está representado a topologia do circuito Cúk.

Figura 17 – (a) Estrutura do conversor Cúk. (b) Etapas de funcionamento

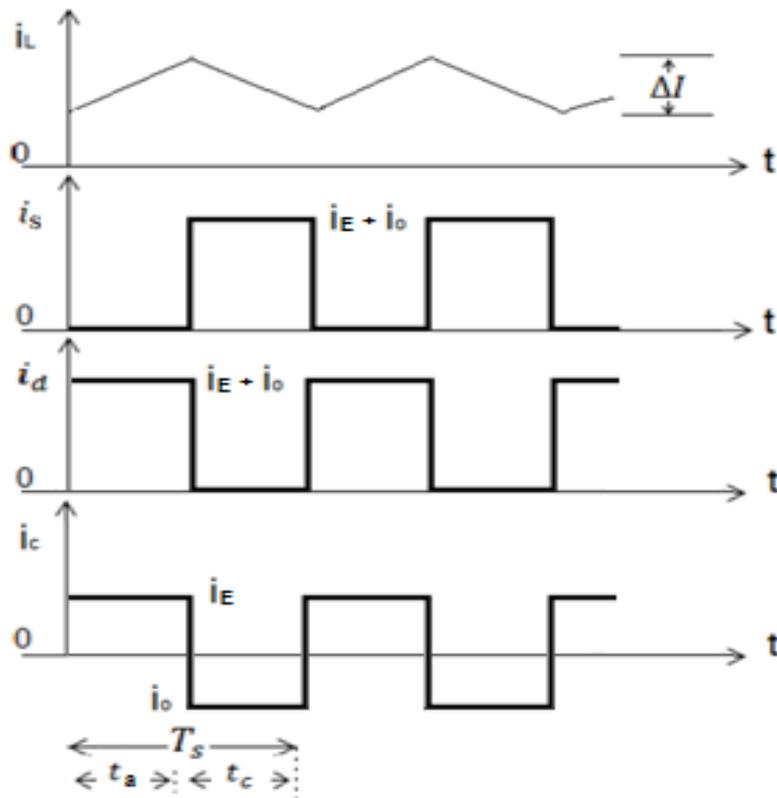


Fonte: Eletrônica de potência: Conversores CC-CC básico não isolados (2006).

A primeira etapa do circuito consiste no carregamento do capacitor  $C$  com a corrente  $i_E$  que flui pelo diodo, a chave  $S$  permanece aberta durante esta etapa. Em seguida a chave  $S$  se fecha dando início a segunda etapa de operação, onde o diodo é polarizado inversamente e a corrente armazenada anteriormente no capacitor flui pela chave carregando a carga.

A Figura 18 a seguir mostra as principais formas de onda do circuito, com os valores de tensão e corrente dos componentes.

Figura 18 – Principais formas de onda.



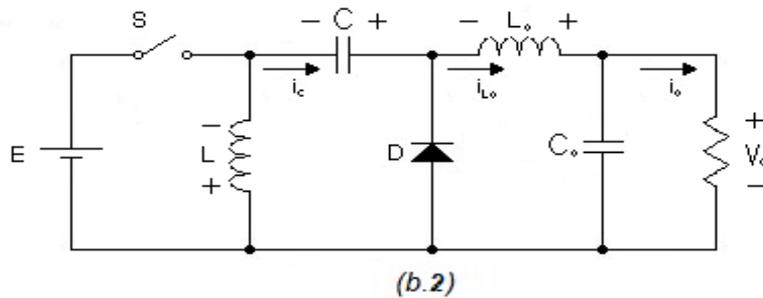
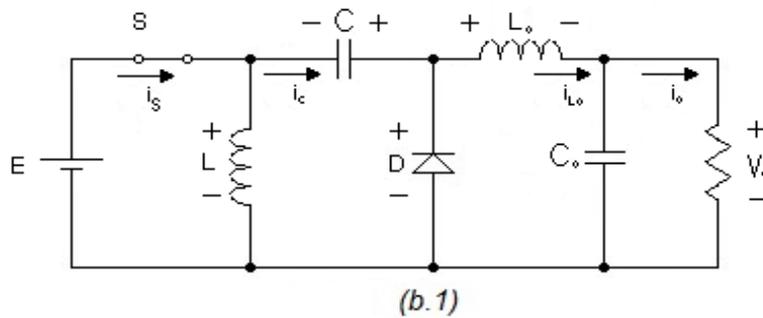
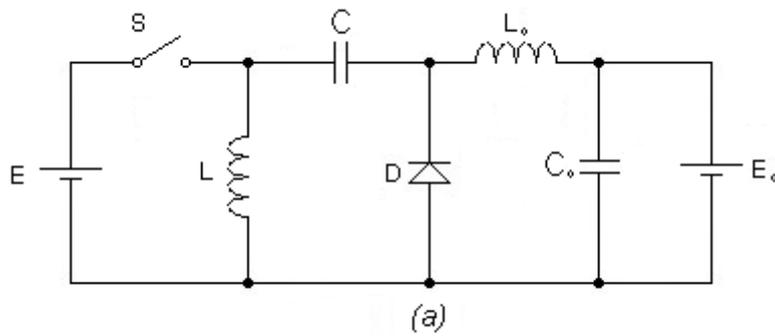
Fonte: Adaptada de Eletrônica de potência: Conversores CC-CC básico não isolados (2006).

### 2.3.1.3 Conversor Zeta

O conversor Zeta é constituído por uma topologia de 4ª ordem, sendo melhor entendida se vista como um conversor buck-boost, estudado anteriormente em 4.1.1, acoplado a um conversor buck.

A Figura 19 mostra o circuito completo do inversor Zeta (a), e suas etapas de funcionamento em (b), em que a etapa de transferência de energia para os componentes dinâmicos do sistema b.1, e em b.2 a fonte é desconectada e a energia dos componentes são transferidas para a carga.

Figura 19 – (a) Estrutura do conversor. (b) Etapas de funcionamento.



Fonte: Eletrônica de potência: Conversores CC-CC básico não isolados (2006).

### 2.3.2 Regulador de tensão

Estes dispositivos são capazes de manter uma tensão de saída constante independentemente da oscilação na tensão de entrada. De acordo com o Marcelo Wendling (CI reguladores de tensão, 2009):

Os reguladores de tensão podem ser implementados com componentes discretos ou podem ser obtidos na forma de circuito integrado. Os reguladores de tensão na forma de CI são mais precisos e tornam o circuito mais compacto, pois ocupam menor espaço.

Tem-se vários tipos de reguladores de tensão, dentre os quais podemos citar os CIs da série 78XX para tensão positiva e os da série 79XX para tensão negativa.

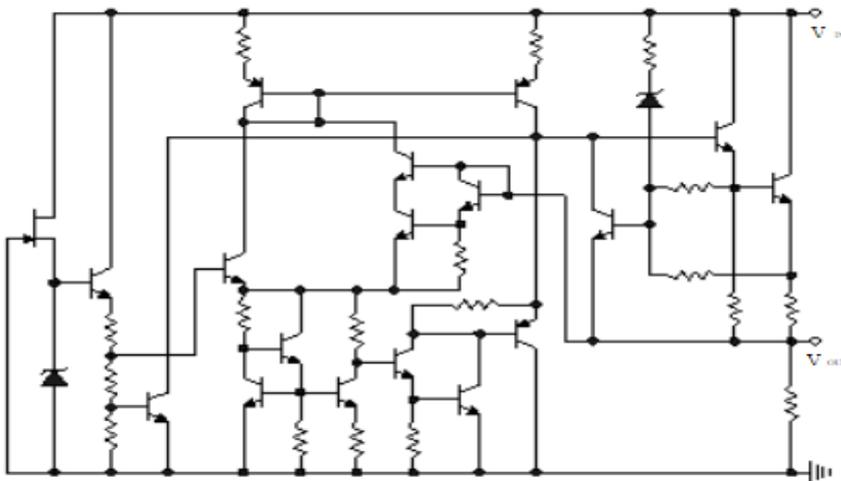
Devido à grande versatilidade desse componente eletrônico, os mesmos estão sendo muito utilizados em projetos com o intuito de poupar espaço, tempo e dinheiro; tendo em vista que a solução para conversão encontrasse pronta.

Outra característica desse circuito integrado de conversão de tensão, está no fato de conter apenas componentes estáticos, que não armazenam energia; e é por esse mesmo fator que torna a aplicação dessa solução de conversão mais difícil de ser implementada em circuitos de grande potência.

Para melhor compreender a composição do circuito, logo abaixo a Figura 20 apresenta o esquemático do conversor de tensão 7805, regulado para baixar 35V até 5V.

Figura 20 – Circuito integrado 7805.

#### Equivalent Circuit

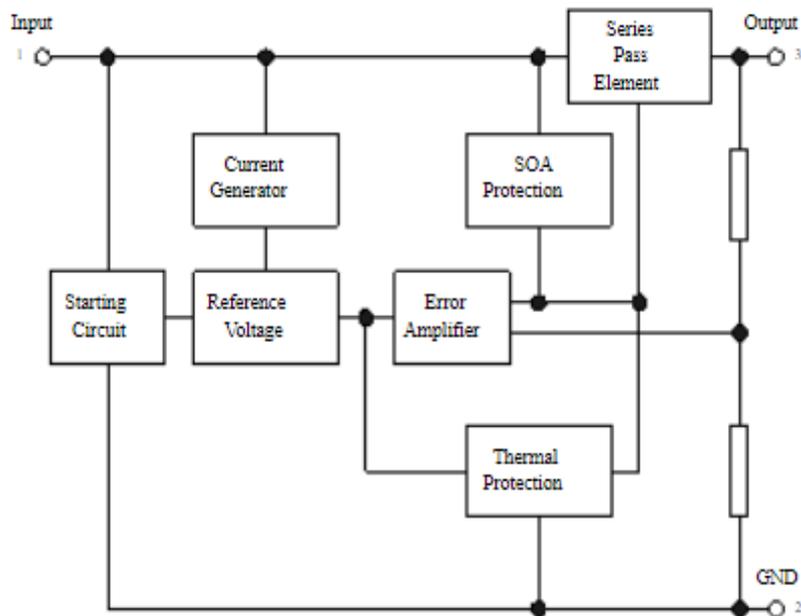


Fonte: Wing Shing Computer Components (2020).

Uma maneira um pouco mais simples de ilustrar o circuito é na forma de diagrama de blocos, onde cada bloco representa uma função desempenhada por certo grupo de componentes. Dessa forma, a Figura 21 a seguir, ilustra essa divisão com os blocos nomeados de acordo com sua função.

Figura 21 – Esquemático do circuito 7805.

### Schematic Diagram



Fonte: Wing Shing Computer Components (2020).

Tendo visto algumas topologias de circuitos conversores e o seu comportamento para transformar e transferir a energia da fonte para a carga de forma controlada e segura. Pode-se concluir nesta etapa do projeto, que a escolha mais adequada para aplicação e continuidade do projeto é a escolha de um circuito integrado que atenda aos requisitos do projeto como tensão e corrente.

### 3 VALIDAÇÃO DA TEORIA

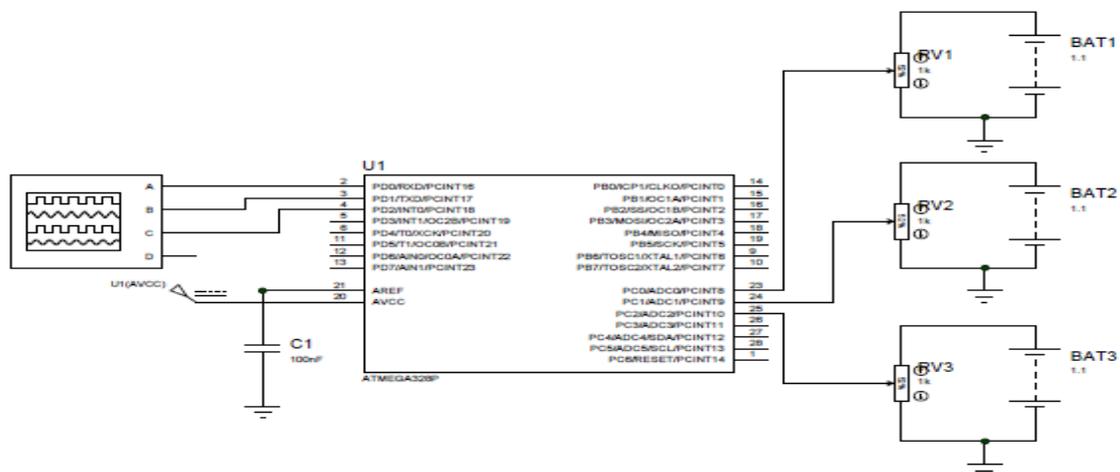
Neste capítulo do projeto serão apresentadas as etapas de simulação, que compara o comportamento do circuito simulado com o teórico. Partindo da análise desses resultados será possível validar os conceitos e as aplicações do sistema.

#### 3.1 SIMULAÇÃO DO CIRCUITO

Para esta etapa do projeto foi escolhido o programa de simulação de componentes eletrônicos Protheus, devido a ampla biblioteca de componentes e a facilidade em simular o microcontrolador Atmega 328P. Dessa forma o circuito desenvolvido para simular o bloco do sistema de gerenciamento de baterias responsável por coletar as informações analógicas do circuito, tais como: tensão, corrente e temperatura, através dos conversores analógicos digitais (ADC) que o micro controlador possui. Esses conversores se encontram no Atmega 238P da seguinte forma; o microcontrolador possui três portas logicas B, C e D, mas apenas a porta C contém conversores analógicos para digital. Assim para o projeto foi utilizado os pinos PC0, PC1 e PC2 cada um responsável por coletar uma informação da bateria.

Para melhor entender como esse sistema foi montado para a simulação, a Figura 22 traz três conjuntos de uma fonte e um potenciômetro, cada conjunto representando uma variável da bateria a ser lida. Além do osciloscópio conectado aos pinos PD0, PD1 e PD2, cada um responsável por identificar qual variável está sendo medida.

Figura 22 – Esquemático do circuito simulado no programa Protheus.



Após descrever a composição do circuito, é dada continuidade ao projeto com a descrição da parte lógica do microcontrolador. Essa, no entanto, foi desenvolvida com o auxílio do software Atmel Studio.

A linhas de código desenvolvidas para rodar no Atmega foram escritas em linguagem C e encontra-se no anexo A desse projeto. Esse programa é simples, pois inclui apenas as bibliotecas necessárias, além de algumas variáveis. Já a parte lógica, consiste apenas em inicializar o leitor ADC da porta C e enviar o resultado para a porta B e D, na ordem certa. Assim, o raspberry PI consegue identificar qual variável está sendo lida e repassar essa informação para o usuário.

Com esta etapa do projeto concluída passou se para o desenvolvimento de um protótipo do BMS, que será apresentado no próximo capítulo.

## 4 SISTEMA DIGITAL

Um dos objetivos do presente projeto é o desenvolvimento de um sistema digital com capacidade para gerenciar as informações medidas na bateria. Assim, serão apresentados os componentes de lógicos e eletrônicos que compõem esse sistema.

### 4.1 COMPONENTES

O protótipo do controle de bateria é contemplado por um sistema eletrônico de potência (placa BMS) capaz de controlar os valores de carga, como tensão e corrente, além de ser um sistema inteligente que gerencia as informações obtidas disponibiliza ao usuário um gráfico ao longo do tempo.

#### 4.1.1 Raspberry PI

Este equipamento eletrônico ilustrado pela Figura 23, desenvolvido pela empresa Raspberry PI Foundation, é responsável pela parte lógica de monitoramento e gerenciamento das informações de vida útil da bateria. Essa topologia foi escolhida por sua capacidade de processamento, quantidade de periféricos e versatilidade em aplicações de controle.

Figura 23 – Raspberry PI



Fonte: Própria do autor (2020).

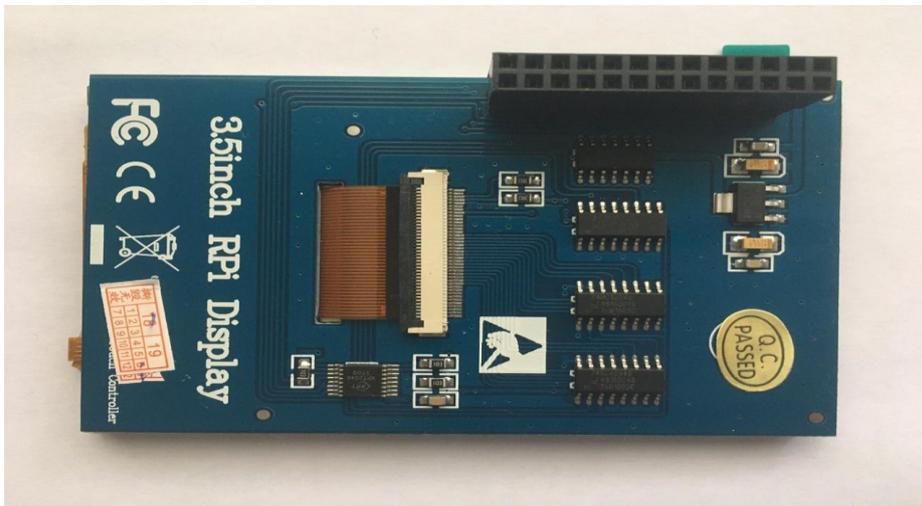
Esse, assim como outros sistemas de controle, possui uma lógica responsável pela aquisição dos valores fornecidos pela placa de circuito eletrônico, como também, a implementação das informações entregues ao usuário. Tudo isso foi desenvolvido diretamente no dispositivo modelo raspberry PI 3, em linguagem C.

Como parte de todo sistema operacional, há um desenvolvedor e compilador de linguagem C nativo. Sendo facilmente acessado através do prompt de comando, existe um comando para desenvolver o script da linguagem, e outro para a compilação do programa.

O sistema operacional instalado no raspberry é uma versão básica do Linux, operando sem a parte gráfica. Dessa forma, é preciso conhecer alguns comandos básicos como “sudo nano” para criar o arquivo.c, e o “gcc arquivo.c -o nomedoprograma”, para criar o arquivo executável, responsável pela inteligência do nosso controle de carga da bateria de íon de lítio.

Para que o programa fosse elaborado e executado no próprio hardware do raspberry PI, foi preciso adicionar uma shield de LCD como mostra a Figura 24, tornando a apresentação do sistema muito mais interativa, e de melhor compreensão por parte do usuário.

Figura 24 – Shield LCD



Fonte: Própria do autor (2020).

O resultado da associação entre o raspberry PI com o shield do LCD, utilizado para o desenvolvimento do projeto aparece na Figura 25 logo abaixo.

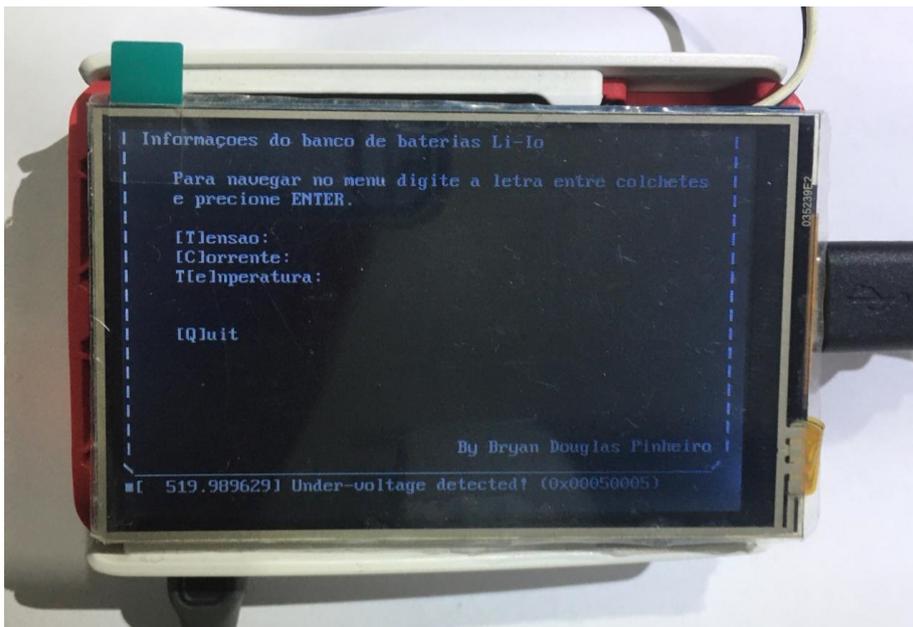
Figura 25 – Raspberry com shield do LCD



Fonte: Própria do autor (2020).

Com o equipamento completo, foi desenvolvido o programa de interface com o usuário. A Figura 26 abaixo, mostra o menu como sendo a primeira tela de acesso as informações, de onde é possível escolher entre tensão, corrente e temperatura do banco de baterias.

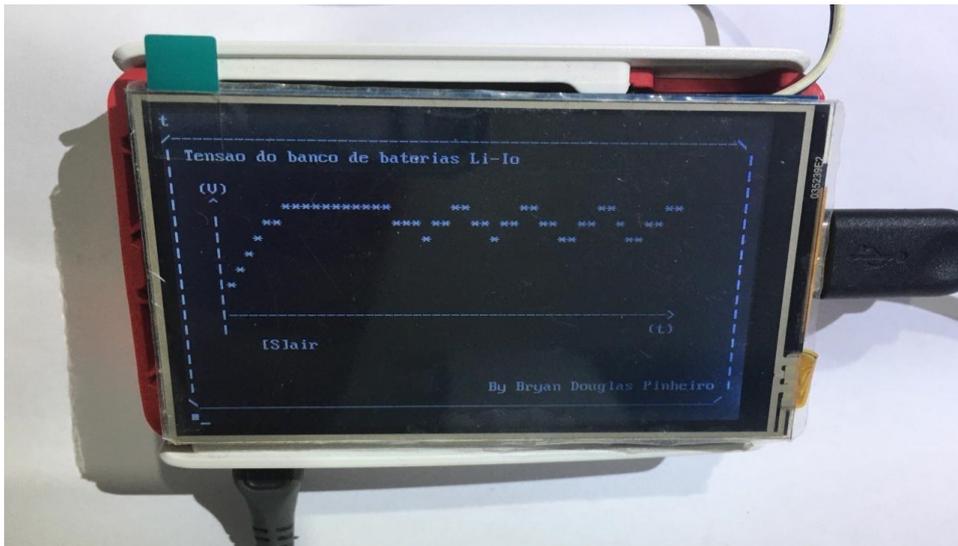
Figura 26 – Menu principal do programa BMS.



Fonte: Própria do autor (2020).

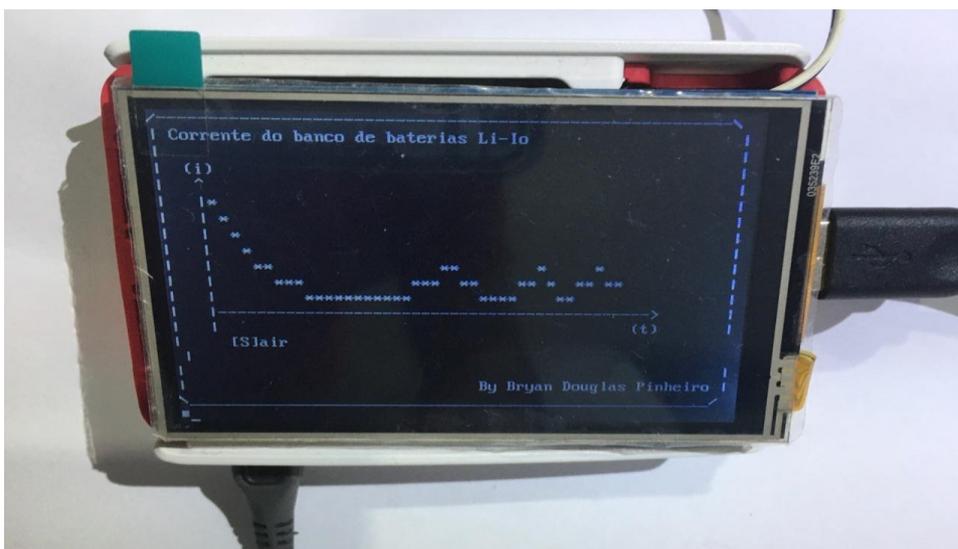
Logo após a escolha do parâmetro da bateria, uma tela com o gráfico dos valores ao longo do tempo, é mostrado na tela. Dessa forma, as Figuras 27, 28 e 29, ilustram respectivamente os gráficos de, tensão, corrente e temperatura, traçados com as informações de carregamento do pack.

Figura 27 – Gráfico da tensão do banco de baterias.



Fonte: Própria do autor (2020).

Figura 28 – Gráfico da corrente do banco de baterias.



Fonte: Própria do autor (2020).

Figura 29 – Gráfico da temperatura do banco de baterias.



Fonte: Própria do autor (2020).

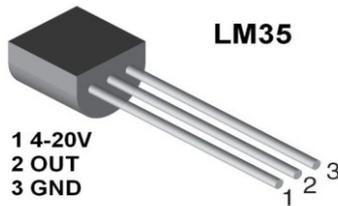
Além do raspberry e do Atmega 328P descrito anteriormente, outros componentes foram utilizados, como o LM35, responsável por medir a temperatura e o regulador de tensão 7805, são apresentados nessa ordem.

#### 4.1.2 LM 35

O componente eletrônico LM35 foi escolhido para fazer a verificação do valor da temperatura da bateria de íon de lítio através do contato direto. Este componente mede a temperatura de forma indireta, precisando ser alimentado por uma tensão de 4 a 20 volts entre os pinos Vcc e GND, lembrando que esta informação pode variar conforme o fabricante. O resultado pode ser verificado através do valor de tensão no pino OUT, que segundo a folha de dados tem o valor diretamente proporcional ao da temperatura. Logo abaixo a

Figura 30 identifica a numeração e a nomenclatura correspondente aos pinos do componente.

Figura 30 – Componente eletrônico LM 35



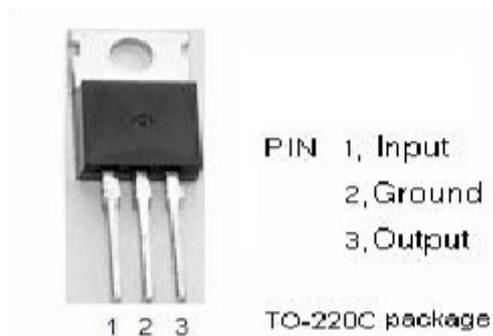
Fonte: Electrobist.com (2020).

O LM35 encontra-se conectado ao BMS entre a bateria e o micro controlador Atmega, responsável por fazer a conversão AD. Este circuito aparece no capítulo 5.

#### 4.1.3 Regulador de tensão

Outro componente composto pelo sistema de controle de carga, e que foi escolhido como uma alternativa para o desenvolvimento do projeto, mencionado anteriormente na seção 4.2., é regulador de tensão, um componente eletrônico composto por um circuito integrado em um único encapsulamento, como mostra a Figura 31. Seu circuito completo pode ser visto na Figura 20, presente no capítulo 4.

Figura 31 – Componente eletrônico 7805



Fonte: Datasheet Inchange Semiconductor Company (2020).

Seguindo a folha de dados do fabricante, este componente é capaz de transformar uma tensão de 35V de entrada, pino 1 (input), em uma tensão de saída de 5V no pino 3 (output). Sendo essa a tensão máxima para o carregamento da bateria, já que a mesma precisa alcançar

um valor de 4,8 volts, e assim, entrar em estado de flutuação, como descrito no capítulo 2. O regulador de tensão pode ser utilizado para alimentar todo o sistema de carregamento, desde as próprias baterias como também o microcontrolador e o raspberry.

## 5 CONCLUSÃO

Com o intuito de desenvolver um sistema elétrico capaz de reaproveitar as baterias de íon de lítio descartadas de forma inapropriada, seguindo através de pesquisas sobre a quantidade de baterias subutilizadas e seu modelo, pôde-se definir que o modelo de bateria ICR 18650 seria o mais apropriada para ser utilizada no projeto.

Dessa forma, foi possível determinar os objetivos a serem abordados, bem como os efeitos ecológicos e físicos, tais quais, quantidade de baterias reaproveitadas em um pack, valor gasto para o desenvolvimento do sistema, e tamanho energético disponível pelo mesmo.

Devido à complexidade envolvida no armazenamento de energia através do modelo de bateria escolhido, grande parte do estudo e desenvolvimento do projeto abordou os métodos de carregamento e o impacto que esse processo causa a bateria durante os ciclos de carga e descarga.

Além do conhecimento sobre a gestão de energia foi preciso estudar os conversores de energia, sendo possível identificar qual a melhor topologia para esse tipo de aplicação, optando-se, assim, pelo uso de um regulador de tensão para a fonte de carregamento do sistema.

Durante o desenvolvimento desse projeto foram impostas algumas restrições ao uso do laboratório, isso fez com que as análises dos valores teóricos fossem comparadas apenas pelos valores simulados através do programa de desenvolvimento de circuitos eletrônicos Protheus. Como, se trata de um software completo, foi possível montar o circuito eletrônico e adicionar o script de linguagem C do micro controlador, obtendo, mesmo com as dificuldades, bons resultados.

Uma outra etapa contempla o desenvolvimento de um programa para a apresentação das informações do banco de baterias para o usuário. Sendo desenvolvida em uma plataforma Linux, todas as informações e ferramentas necessárias para um BMS foram atendidas.

Após todas as pesquisas desenvolvidas durante o projeto, pode-se afirmar que o desenvolvimento de um gerenciador de carga de baterias de íon de lítio é válido, pois diminui o volume do e-lixo através da reutilização das baterias.

## REFERÊNCIAS

- [1] Adapted from Pistoia, G., **Battery Operated Devices and Systems**, 2009 Elsevier.
- [2] BARBI, Ivo & MARTINS, Denizar C. **Eletrônica de potência: Conversores CC-CC básico não isolados** – 2ª ed. rev. Florianópolis: Ed. dos Autores, 2006. 377p.
- [3] Battery University . **BU-409: Charging Lithium-ion**. Disponível em: <[https://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries#:~:text=Li%2Dion%20is%20fully%20charged,charge%20when%20the%20voltage%20drops.&text=The%20advised%20charge%20rate%20of,is%20about%202%E2%80%933%20hours](https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries#:~:text=Li%2Dion%20is%20fully%20charged,charge%20when%20the%20voltage%20drops.&text=The%20advised%20charge%20rate%20of,is%20about%202%E2%80%933%20hours)>. Acesso em: 20 set. 2020.
- [4] BOSCH, Robert. **Automotive Handbook**. 2000: GmbH.
- [5] Carayannis, E. G., Del Giudice, M., & Soto-Acosta, P. (2018). **Disruptive technological change within knowledge-driven economies: The future of the Internet of Things (IoT)**. Technological Forecasting and Social Change.
- [6] COELHO, Kefas D. e SOUZA, Alexandre Ferrari de. **Carregador de baterias – Métodos de cargas**. Relatório INEP-07.06.00.
- [7] E.L. Schneider a,\*, W. Kindlein Jr. a, S. Souzaa, C.F. Malfatti b. (2008). **Assessment and reuse of secondary batteries cells**. **Journal of Power Sources**.
- [8] Ecycle. **Onde reciclar baterias de eletrônicos**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/56-pilhas-e-baterias/294-onde-reciclar-baterias-de-eletronicos.html>>. Acesso em: 22 set. 2020
- [9] Electric cars: **Technology Lecture**, notes: Lecture 2.1.
- [10] FERREIRA, SILVA & GALDINO (2010) HOLOS, Ano 26, Vol. 5 104 RECICLAGEM DE LIXO ELETRÔNICO.
- [11] Hoffart 2008; Cready et al. 2003; Neubauer e Pesaran 2011; Marano et al. 2009.
- [12] HOPKINS, Johns. **Breakthrough Flexible, Cuttable Lithium-Ion Battery Won't Catch Fire – Unbreakable & Incombustible**. Disponível em: <<https://scitechdaily.com/breakthrough-flexible-cuttable-lithium-ion-battery-wont-catch-fire-unbreakable-incombustible/#:~:text=This%20breakthrough%20flexible%2C%20cuttable%2C%20lithium,add%20incombustible%20to%20its%20resume.>> Acesso em : 12 set. 2020
- [13] Infineon. **Battery management System evaluation board which features the sensing and balancing IC TLE9015QU**. Disponível em: <[https://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/tle9015qu\\_trx\\_brg/](https://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/tle9015qu_trx_brg/)>. Acesso em: 20 set. 2020

- [14] K. W. E. Cheng, Senior Member, IEEE, B. P. Divakar, Hongjie Wu, Kai Ding, and Ho Fai Ho. **Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles**. IEEE Transactions on vehicular technology, vol. 60, no. 1 janeiro 2011.
- [15] Langevin, S. A., Tan, B., Freeman, A. W., Gagnon, J. C., Hoffman, C. M., Logan, M. W., ... Gerasopoulos, K. (2019). **UV-cured gel polymer electrolytes with improved stability for advanced aqueous Li-ion batteries**. Chemical Communications.
- [16] Resmini, F. and J. Ohlson, **ZEBRA battery integration in "Think City" pure battery electric vehicle**, in EVS24. 2009: Stavanger, Norway.
- [17] Rosolem, Maria de F. N. C., Marques, Felipe L. dos R., Aranha, Juliana C. M. S., Beck, Raul F., Nascimento, Renato do, Snatos, Sender R. dos, Nascimento, Thiago C., Cano, Wagner F. R., Jr, Mauro F. B. **Desenvolvimento de bateria de lítio-íon nacional para sistemas fotovoltaicos**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018.
- [18] Troltzsch, U., et al., **Characterizing Aging Effects of Lithium-Ion Batteries by Impedance Spectroscopy**, Electrochimica Acta 51, 1667-1672, 2006.
- [19] Van den Bossche, P. et al., **SUBAT: An assessment of sustainable battery technology**. Journal of Power Sources, 2005. 162(2)).
- [20] Van den Bossche, P., et al., **SUBAT: An assessment of sustainable battery technology**. Journal of Power Sources, 2005. 162(2).
- [21] Westbrook, M.H., **The Electric Car: Development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars**. IEE Power Series no. 38. 2001.
- [22] Wikipedia. **List of battery sizes**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_battery\\_sizes](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_battery_sizes)>. Acesso em: 18 set. 2020.

**ANEXOS**

## ANEXO A – Programa ADC

Linhas de código em linguagem C, para o microcontrolador atmega 328P.

```

/*
 * ADC para raspberry.c
 *
 * Created: 20/10/2020 18:33:42
 * Author : bryan
 */

#define F_CPU 16000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <avr/eeprom.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sfr_defs.h>

#define      set_bit(Y,bit_x) (Y|=(1<<bit_x))
#define      clr_bit(Y,bit_x) (Y&=~(1<<bit_x))
#define      tst_bit(Y,bit_x) (Y&(1<<bit_x))
#define      cpl_bit(Y,bit_x) (Y^=(1<<bit_x))

int cont_bit [8] = {0,0,0,0,0,0,0,0};

int main(void)
{

    ADCSRA = 0b10000000;
    //0 primeiro bit ADEN liga e desliga o ADC
    //o segundo bit ADSC habilita e desabilita a conversão
    DDRD = 0xFF;
    DDRB = 0xFF;

    void dig_to_anl (int);
    void communication ();

    while(1)
    {
        // Voltmetro //
        set_bit(ADCSRA,ADSC);
        while(tst_bit(ADCSRA,ADSC)){
            ADMUX = 0b11100000; //o terceiro bit alinha pela esquerda, o ADCH
deve ser lido.

            dig_to_anl(ADCH);
            //communication ();
            PORTB =ADCH;
            set_bit(PORTD,PD0);
            _delay_ms(50);
            clr_bit(ADCSRA,ADSC);
        }
        clr_bit(PORTD,PD0);
        // Ampermetro //
        set_bit(ADCSRA,ADSC);
        while(tst_bit(ADCSRA,ADSC)){
            ADMUX = 0b11100001; //o terceiro bit alinha pela esquerda, o ADCH
deve ser lido.

```

```

        dig_to_anl(ADCH);
        //communication ();
        PORTB =ADCH;
        set_bit(PORTD,PD1);
        _delay_ms(50);
        clr_bit(ADCSRA,ADSC);
    }
    clr_bit(PORTD,PD1);
    // Termometro //
    set_bit(ADCSRA,ADSC);
    while(tst_bit(ADCSRA,ADSC)){
        ADMUX = 0b1110010; //o terceiro bit alinha pela esquerda, o ADCH
deve ser lido.
        dig_to_anl(ADCH);
        //communication ();
        PORTB =ADCH;
        set_bit(PORTD,PD2);
        _delay_ms(50);
        clr_bit(ADCSRA,ADSC);
    }
    clr_bit(PORTD,PD2);
}
}

void dig_to_anl(int analogic){
    int bit=0;

    for(int x=0;x<=7;x++){
        bit=analogic%2;
        analogic=analogic/2;
        if(bit==0)
            cont_bit[x]=bit;
        else
            cont_bit[x]=1;
    }
}

void communication (){
    set_bit(PORTD,PD1);
    _delay_ms(5);
    for(int x=0;x<=7;x++){
        if(cont_bit[x]==0){
            clr_bit(PORTD,PD0);
            _delay_ms(10);
        }
        else{
            set_bit(PORTD,PD0);
            _delay_ms(10);
        }
    }
    clr_bit(PORTD,PD0);
    clr_bit(PORTD,PD1);
    _delay_ms(10);
}

```