

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA SEGUNDA VIDA DAS BATERIAS 18650 DE NOTEBOOK
PARA A MONTAGEM DE UM PACK DE 48V**

PONTA GROSSA

2023

GUILHERME FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA SEGUNDA VIDA DAS BATERIAS 18650 DE NOTEBOOK
PARA A MONTAGEM DE UM PACK DE 48 V**

**Analysis of the second-life of notebook 18650 batteries for the assembly
of a 48 V-battery pack**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Dr. Carlos Henrique Illa Font.

PONTA GROSSA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GUILHERME FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA SEGUNDA VIDA DAS BATERIAS 18650 DE NOTEBOOK
PARA A MONTAGEM DE UM PACK DE 48 V**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 01/dezembro/2023

Carlos Henrique Illa Font
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fernanda Cristina Corrêa
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Rodolfo Galvão
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2023

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão a Deus por me fortalecer ao longo desses anos de graduação, à minha família e amigos pelo apoio nos momentos desafiadores, e à minha futura esposa por seu encorajamento. Agradeço também ao Prof. Carlos Henrique Illa Font por concordar em ser meu orientador neste trabalho, bem como por sua valiosa contribuição para a construção do projeto e estrutura da pesquisa.

RESUMO

A reciclagem de equipamentos eletrônicos torna-se cada vez mais vital devido à crescente escassez de recursos naturais. Este projeto descreve a construção de um *pack* 13S7P, utilizando células de segunda vida retiradas de notebooks. Para seu desenvolvimento, foram essenciais os equipamentos Liitokala, ITECH e YAOREA para medição da resistência interna e Liitokala com ZB2L3 para teste de capacidade nas células. Inicialmente, os testes de capacidades foram conduzidos com o testador ZB2L3, mas sua limitação de apenas descarregar as células tornou-se necessário carregar a célula antes e após o teste de cada célula. Posteriormente, foi adotado o testador automático Liitokala. As células 18650 retiradas dos notebooks, conhecidas como células secundárias ou baterias recarregáveis, são ideais quando se necessita de alta corrente de descarga. No entanto, para a construção do *pack*, é essencial conhecer parâmetros elétricos críticos, como resistência interna e capacidade, que impactam diretamente no desempenho da bateria. A resistência interna, quando elevada, pode causar superaquecimento, enquanto a capacidade é essencial para a autonomia do *pack*. O projeto incluiu a desmontagem de 33 baterias de notebooks, totalizando 173 células. Após testes de capacidade e resistência interna, as melhores células foram selecionadas para a montagem do *pack* 13S7P, essa escolha é devido a motores de bicicleta que trabalham com 48 V, a associação é composta por 91 células com capacidades variando de 1662 mAh a 2586 mAh, desse modo balanceou-se as células em paralelo obtendo uma capacidade média de 14330 mAh. Para o controle de tensão e corrente de trabalho utilizou-se um BMS da marca DALY modelo 40A. No ensaio de descarga utilizou-se uma carga ôhmica de 11,8 Ω e plotado um gráfico monitorando a tensão, o tempo total de descarga foi de 1h21min, demonstrando viabilidade do uso de células de segunda vida de notebooks, tanto em termos financeiros quanto ambientais.

Palavras-chave: células de segunda vida; baterias 18650; resistência interna; capacidade.

ABSTRACT

Electronic equipment recycling has become increasingly crucial due to the growing scarcity of natural resources. This project outlines the construction of a 13S7P battery pack using second-life cells extracted from discarded notebooks. In the development of this battery pack, measuring the internal resistance and conducting capacity tests on the cells proved essential. The Liitokala equipment displayed inaccuracies in internal resistance measurement, leading to the use of ITECH and YAOREA testers, which provided consistent and reliable values. Initially, capacity tests were conducted using the ZB2L3 tester, but its single-cell discharge limitation necessitated recharging before and after each test. Later, an automated Liitokala tester was adopted. The 18650 cells extracted from the notebooks, commonly known as secondary cells or rechargeable batteries, are ideal when high current is required. However, critical electrical parameters, such as internal resistance and capacity, must be understood for battery performance. Elevated internal resistance can lead to overheating, while capacity is crucial for pack autonomy. The project involved the disassembling of 33 notebook batteries, totaling 173 cells. Following capacity and internal resistance tests, the best cells were selected for the assembly of a 13S7P pack, consisting of 91 cells with capacities ranging from 2586 mAh to 1662 mAh. Balancing the 7P cells allowed achieving an average capacity of 14,330 mAh total. The discharge test with an 11.8 Ω ohmic load, monitored by an Arduino, yielded positive results, demonstrating the feasibility of utilizing second-life notebook cells, both financially and environmentally.

Keywords: second-life cells, 18650 batteries, internal resistance, capacity.

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Bateria de notebook	43
Fotografia 2 - Pack de baterias vista interna	44
Fotografia 3 - Células descartadas	44
Fotografia 4 - Montagem testadores capacidade	48
Fotografia 5 - Montagem carregador	48
Fotografia 6 - Funcionamento carregadores e testadores	49
Fotografia 7 - Liitokala testador de capacidade	49
Fotografia 8 - Células analisadas.....	50
Fotografia 9 - Testador de baterias ITECH	53
Fotografia 10 - Testador de baterias YAOERA	53
Fotografia 11 - Suporte células	59
Fotografia 12 - Suporte alinhar células	60
Fotografia 13 - Montagem associação paralelo	60
Fotografia 14 - Associação paralelo completa pack	61
Fotografia 15 - Montagem associação serie pack	61
Fotografia 16 - Instalação BMS pack	62
Fotografia 17 - Pack 48V	62
Fotografia 18 - Teste pack	63
Fotografia 19 - Carga resistiva	64
Fotografia 20 - Corrente descarga	64
Fotografia 21 - Temperatura descarga	65
Fotografia 22 – Corrente de carga	65
Fotografia 23 - Temperatura de carga	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes de uma bateria recarregável de íons de lítio	18
Figura 2 - Baterias primárias – não recarregáveis	19
Figura 3 - Baterias secundárias – recarregáveis	20
Figura 4 - Base de uma célula cilíndrica de íons de lítio	20
Figura 5 - Dimensão célula 18650	34
Figura 6 - Pilhas ligadas em série e paralelo	36
Figura 7 - Testador de capacidade ZB2L3.....	45
Figura 8 - Módulo de carga TP4056	46
Figura 9 - Slot células 18650	47
Figura 10 - Custo kit testador de capacidade	47
Figura 11 - Conexão série pack 48V	55
Figura 12 - Instalação BMS.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curvas de tensão da bateria em descarga	25
Gráfico 2 - Curvas de tensão da bateria em descarga	25
Gráfico 3 – Comparação ciclo de vida com diferentes níveis de descarga	26
Gráfico 4 - Curvas de tensão da bateria em descarga	27
Gráfico 5 - Autodescarga em diferentes temperaturas	30
Gráfico 6 - Testadores de resistência LiitoKala x ITECH	52
Gráfico 7 - Testadores de YAOREA x ITECH	54
Gráfico 8 - Descarga pack	67
Gráfico 9 - Carga pack	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Número de Ciclos x Corrente de Descarga	26
Quadro 2 - Capacidade x Temperatura	28
Quadro 3 - Número de Ciclos x Tensão de Carga	29
Quadro 4 - Perda de Capacidade x Número de Ciclos	31
Quadro 5 - Datasheet células segunda vida parte 1	41
Quadro 6 - Datasheet células segunda vida parte 2	41
Quadro 7 - Datasheet células segunda vida parte 3	42
Quadro 8 - Química das células	42
Quadro 9 - Parâmetros operacionais placa ZB2L3	45
Quadro 10 - Parâmetros operacionais TP4056	46
Quadro 11 - Parâmetros operacionais Lii-500	50
Quadro 12 - Modelos de células	51
Quadro 13 - Testadores de resistência LiitoKala x ITECH	52
Quadro 14 - Testadores de YAOREA x ITECH	54
Quadro 15 - Parâmetros operacionais BMS	57
Quadro 16 - Balanceamento células de segunda vida 18650	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
S	Nº de células em série
P	Nº de células em paralelo
Wh/Kg	Watts hora por quilo-grama
CC	Corrente contínua
CA	Corrente alternada
LTI	Linearmente invariante ao tempo
Khz	Quilo-hertz
BMS	Sistema de Gerenciamento de Bateria
SOC	Estado de Carga
SOH	Estado de Saúde

LISTA DE SÍMBOLOS

E	Tensão elétrica
I	Corrente elétrica
R	Resistência elétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contexto.....	15
1.2	Problema.....	16
1.3	Objetivo geral	17
1.3.1	Objetivos específicos	17
1.4	Justificativa.....	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	Conceitos fundamentais da bateria.....	18
2.2	Células primárias e secundárias.....	19
2.3	Principais parâmetros elétricos das baterias.	21
2.4	Estado de carga.....	22
2.5	Estado de saúde.....	23
2.6	Fatores que afetam o desempenho da bateria	23
2.6.1	Resistência interna.....	23
2.6.2	Tensão nominal.....	24
2.6.3	Corrente de descarga.....	25
2.6.4	Temperatura durante a descarga	27
2.6.5	Tipo de descarga.....	28
2.6.6	Tensão de carregamento	28
2.6.7	Autodescarga e armazenamento	29
2.7	Envelhecimento e ciclagem.....	30
2.8	Como prolongar a vida das células de lítio-íon	30
2.9	Seleção das baterias.....	32
2.10	Características das células 18650	33
2.11	Impedância das células	35
2.12	Associação de células/baterias	35
2.13	BMS	37
2.14	Técnicas de estimação do SOH	38
3	DESENVOLVIMENTO	40
3.1	Obtenção das células de lítio	40
3.2	Especificações de células	42
3.3	Seleção e caracterização das baterias	43
3.3.1	Primeira etapa: adquirir baterias	43
3.3.2	Segunda etapa: desmontagem das bateria notebook	43
3.3.3	Terceira etapa: separação visual das células e análise de tensão.....	44
3.3.4	Quarta etapa: dispositivo para teste da capacidade.....	45
3.3.5	Quinta etapa: montagem testador	48
3.3.6	Sexta etapa: funcionamento carregador e testadores	48
3.3.7	Sétima etapa: teste de resistência	51
3.4	Construção do pack.....	55
3.4.1	Para elevar a tensão elétrica.....	55
3.4.2	Para aumentar a capacidade	55
3.4.3	Modelo do BMS	56
3.4.4	Elaboração do pack.....	57
4	RESULTADOS DO ENSAIO DO PACK (CARGA/DESCARGA)	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS.....	70
	APÊNDICE A - Dados células de notebook.....	74

1 INTRODUÇÃO

A introdução de baterias de autopropelido elétrico no Brasil representa uma evolução significativa no setor de transportes e mobilidade urbana. Com o aumento da conscientização ambiental e a busca por alternativas mais sustentáveis ao transporte tradicional, a tecnologia de baterias tem ganhado destaque em todo o mundo, e o Brasil não fica para trás nessa tendência.

As baterias de autopropelido elétrico, usadas em veículos como carros, motocicletas, bicicletas e até mesmo patinetes, oferecem uma série de benefícios importantes. Primeiramente, contribuem para a redução das emissões de poluentes e gases de efeito estufa, combatendo os problemas de qualidade do ar e as mudanças climáticas que afetam o país. Além disso, essas baterias podem reduzir a dependência de combustíveis fósseis, diminuindo a volatilidade dos preços dos combustíveis e fortalecendo a segurança energética.

O ponto negativo é o alto valor aquisitivo, pois a produção de baterias de lítio envolve materiais caros, como o próprio lítio, cobalto, níquel e outros metais, o que contribui para o seu preço elevado. Além disso, muitas são vendidas falsificadas podendo ser perigosas, uma vez que não passam pelos rigorosos padrões de segurança e qualidade que baterias autênticas seguem. As baterias falsificadas podem superaquecer, pegar fogo ou até explodir colocando em risco a segurança dos usuários e suas propriedades.

Portanto faz necessário o processo de classificação das baterias que contêm células de lítio para determinar quais poderão ser usadas para segunda vida.

1.1 CONTEXTO

Segundo MICHELINI, (2020) a bateria é um armazenador de energia elétrica, importante para várias áreas como: segurança, construção civil, mecânica, equipamentos médicos, brinquedos, meios de transporte, entre centenas de outras áreas. Existem dois tipos de armazenadores de energia:

- **Pilhas Primárias (não recarregáveis):** As pilhas primárias são projetadas para uso único e não podem ser recarregadas, elas convertem energia química em energia elétrica e têm uma vida útil limitada. Uma vez que a energia é esgotada,

a pilha deve ser descartada de maneira apropriada. Exemplos incluem pilhas alcalinas, pilhas de zinco-carbono, pilhas de lítio primárias e pilhas de mercúrio.

- **Baterias Secundárias (recarregáveis):** As baterias secundárias, ao contrário das pilhas primárias, são projetadas para serem recarregadas e reutilizadas várias vezes, elas também convertem energia química em energia elétrica, mas podem ser recarregadas por meio de um processo de inversão da reação química. Exemplos de baterias secundárias incluem baterias de íon de lítio, baterias de chumbo-ácido, baterias de níquel-cádmio (NiCd) e baterias de níquel-metal hidreto (NiMH).

Cada tipo de armazenador de energia tem suas próprias vantagens e desvantagens, e a escolha entre eles depende das necessidades específicas de aplicação. Enquanto as pilhas primárias são convenientes para dispositivos de uso único e de baixo consumo de energia, as baterias secundárias são mais econômicas e ambientalmente amigáveis para dispositivos que exigem recarga regular.

1.2 PROBLEMA

Ao longo dos anos de funcionamento de uma bateria, independentemente do fabricante, modelo ou especificidade, seus componentes químicos sofrem deterioração. Após atingirem o fim de sua vida útil, as baterias devem ser descartadas corretamente em locais apropriados. O descarte irresponsável das baterias causa prejuízos ao solo, uma vez que elas têm vários componentes tóxicos. Por esse motivo, não é permitido jogá-las em lixos convencionais ou na natureza. Caso descarte o resíduo próximo a um lago ou rio, contribui-se para a contaminação da água e, além de prejudicar o meio ambiente, pode causar danos à saúde (MOURA, 2019).

De acordo com a GREEN ELETRON, (2022), uma gestora sem fins lucrativos de reciclagem em eletroeletrônicos e pilhas sem utilidade, conseguiu coletar e encaminhar para destinação correta, no ano de 2021, um total de 878 toneladas de produtos eletroeletrônicos e pilhas, mas esses valores não são dados relacionados ao percentual de reciclagem da bateria de lítio, portanto foram utilizadas as informações fornecidas pela empresa Green Eletron que faz a reciclagem de pilhas no país.

O trabalho pretende mostrar que as baterias antes de serem descartadas podem ser utilizadas em uma segunda vida contribuindo para a redução do

desperdício, a conservação de recursos naturais e a diminuição dos impactos ambientais negativos.

1.3 OBJETIVO GERAL

Montar um pacote de bateria de segunda vida de 48 V com configuração 13S7P, (S número de células em série e P número de células em paralelo) utilizando células de íon de lítio recicladas para acionamento de motores elétrico, para alimentação de um motor de 48 V, 300 W.

1.3.1 OBEJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Medir a resistência interna de cada célula do pack.
- Comparar os valores da resistência interna obtidos com medições de três equipamentos diferentes.
- Avaliar a capacidade das células nos testadores Liitokala Lii-500 e ZB2L3.
- Montar um pack de baterias de 48V com células de segunda vida.
- Realizar ensaios de descarga e carga.

1.4 JUSTIFICATIVA

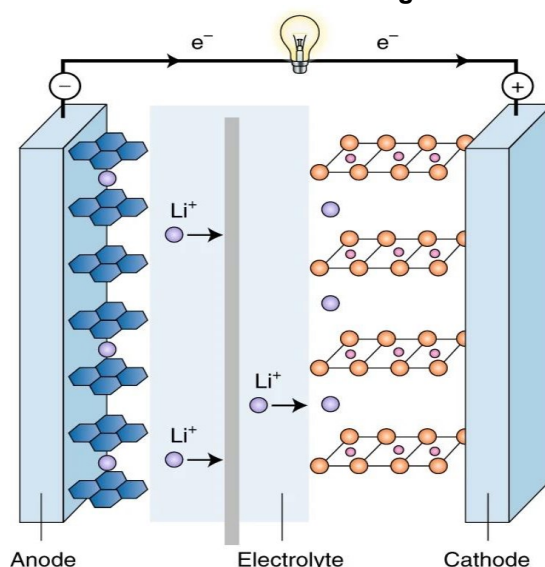
A reciclagem de equipamentos eletrônicos é de extrema importância devido à crescente escassez de recursos naturais e à rápida obsolescência dos componentes eletrônicos, resultado do constante avanço tecnológico. Nesse contexto, o presente trabalho investigar a viabilidade de reutilização das células 18650, que são comumente encontradas em baterias de dispositivos eletrônicos, como laptops. O estudo é importante para avaliar a viabilidade de prolongar a vida útil dessas células em uma segunda aplicação contribuindo assim para a redução do descarte de resíduos eletrônicos e a conservação de recursos naturais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA BATERIA

(Toll, 2017) comenta que, apesar de anos de pesquisas e desenvolvimento, os processos eletroquímicos que possibilitam o funcionamento das células de bateria de lítio são notavelmente simples, dado que as baterias de íons de lítio são as mais predominantes, são predominantes por possuir vantagens como alta densidade de energia (100 a 265 Wh/kg (watt-hora por quilograma)), baixa taxa de autodescarga, ciclo de vida longo, ausência de efeito memória. Seu funcionamento típico será detalhado na Figura 1.

Figura 1 - Componentes de uma bateria recarregável de íons de lítio



Fonte: GOODENOUGH (2018)

Uma bateria contém uma ou várias células idênticas. Cada célula armazena energia elétrica, como energia química em dois eletrodos, o ânodo e o cátodo, que são separados por um eletrólito. A reação química entre os eletrodos tem um componente iônico e um eletrônico. O eletrólito transporta o componente iônico para dentro de uma célula e força o componente eletrônico a percorrer um circuito externo. Em uma bateria recarregável, a reação química é reversível. (GOODENOUGH, 2018, p.1)

A descrição abrangente dos principais componentes inclui o cátodo (polo positivo), ânodo (polo negativo), eletrólito, separador poroso. O cátodo é geralmente composto, enquanto o ânodo consiste principalmente em grafite, com pequenas quantidades de outros elementos. O eletrólito é tipicamente um composto orgânico que contém sais de lítio para facilitar a transferência de íons de lítio. Por sua vez, o separador poroso desempenha o papel de permitir a passagem de íons enquanto mantém o ânodo separado do cátodo (Toll, 2017, p.19).

A bateria é um dispositivo que converte energia química em energia elétrica por meio uma reação eletroquímica de oxirredução. Nesse processo, ocorre a transferência de elétrons dos materiais que oxidam (perdem elétrons) no ânodo para os materiais que se reduzem (ganham elétrons) no cátodo. O mesmo processo ocorre nas baterias recarregáveis, mas de forma inversa.

2.2 CÉLULAS PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS

As células primárias são comumente chamadas de pilhas, após o seu uso não podem ser recarregadas, então devem ser descartadas. Em virtude disso, apresentam um custo mais acessível, possuem baixa capacidade e são indicadas para dispositivos eletrônicos, tais como brinquedos, calculadoras, controles remotos, entre outros. As vantagens da bateria primária incluem boa vida útil, taxas moderadas de descarga, baixo custo e facilidade de utilização, na Figura 2 apresenta os modelos das pilhas. (MICHELINI, 2020, p.16).

Figura 2 - Baterias primárias – não recarregáveis



Fonte: MICHELINI (2020)

As células secundárias, também conhecidas como baterias, têm a capacidade de serem recarregadas após o uso, permitindo que retornem à sua condição original. São utilizadas quando exige uma alta corrente próximo a 2 A, por isso pode ser encontrada em diversos objetos como luzes de emergência, sistemas aeronáuticos, veículos elétricos ou híbridos, equipamentos eletrônicos portáteis, ferramentas elétricas, entre outras aplicações. A vantagem de utilizar baterias é que costumam ser

mais econômicas a longo prazo em comparação às pilhas, tornando-as ideais para aplicações que demandam alto consumo de energia, a Figura 3 ilustra os formatos das baterias. (MICHELINI, 2020, p.17)

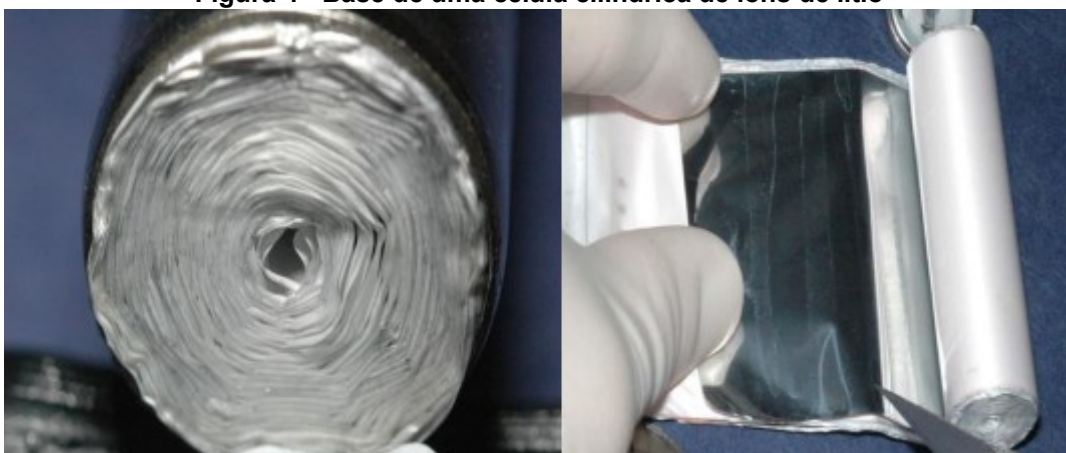
Figura 3 - Baterias secundárias – recarregáveis



Fonte: MICHELINI (2020)

Na Figura 4 apresenta-se a base de uma célula cilíndrica de íons de lítio com a estrutura sendo desenrolada, revelando várias camadas: na cor branca, está o separador, enquanto o coletor de corrente de alumínio faz parte do cátodo.

Figura 4 - Base de uma célula cilíndrica de íons de lítio



Fonte: CELINA MIKOLAJCZAK (2011)

2.3 PRINCIPAIS PARÂMETROS ELÉTRICOS DAS BATERIAS

Apresenta-se as definições dos termos mais empregados em baterias. O entendimento destes termos é de interesse para caracterizar o desempenho das baterias como também para definir seus limites de uso em um determinado projeto (FONT, 2019, p.33).

- Capacidade Nominal (*Ampere-hour Capacity*): É a corrente que se pode obter em um determinado período. Medida em miliampere-hora (mAh) ou amperes hora (Ah)
- Energia Nominal (*Rated Wh Capacity*): A capacidade de uma bateria pode ser expressa pela sua energia nominal, calculada multiplicando a capacidade pela tensão nominal da bateria. A unidade de medida é o Wh (ou kWh).
- Energia Específica (*Specific Energy*): Refere-se à energia nominal por unidade de massa. A unidade de medida é o Wh/Kg.
- Potência Específica: Representa a potência máxima por unidade de massa (W/kg).
- Densidade de Energia: Indica a energia nominal por unidade de volume (Wh/l).
- Densidade de Potência: Refere-se à potência específica por unidade de volume (W/l).
- Estado de Carga (*State of Charge-SOC*): Indica a capacidade restante da bateria em relação à sua capacidade nominal, expressa em porcentagem. Variações no SOC podem ser relacionadas a mudanças na corrente.
- Estado de Vida (*State of Health - SOH*): Representa a relação entre a máxima capacidade de energia de uma bateria usada e sua energia nominal quando nova. Indica o grau de degradação e auxilia na estimativa do tempo de vida, sendo 1 para baterias novas.
- Ciclos de Vida ou Número de Ciclos: Refere-se ao número de ciclos de carga e descarga que uma bateria pode suportar. O número de ciclos de vida muitas vezes é especificado em relação ao *Depth of Discharge* (Profundidade de Descarga), que é a fração da capacidade total da bateria que foi utilizada durante um ciclo. Um DOD típico usado para essas especificações é 80%, o que significa que 80% da capacidade total da bateria é descarregada durante cada ciclo.

- Taxa C: A corrente de uma bateria pode ser medida em taxa C, que informa a capacidade da bateria e quantas vezes ela pode fornecer corrente elétrica. Por exemplo, uma bateria de 2000mA com uma taxa C de 2C pode fornecer uma carga máxima de 4000mA e pode ser carregada com 4000mA. Portanto, quanto maior a taxa C, mais rápido será o processo de carga e, consequentemente, a descarga da bateria (BUCHMANN, 2011, p.35).
- Tensão Nominal: É a tensão típica de uma bateria, geralmente padronizada em múltiplos de 12 V, como 12 V, 24 V, 36 V e 48 V.
- Tensão de Corte: É o valor mínimo de tensão permitido para a bateria, indicando que a bateria está completamente descarregada quando este é atingido, conforme definido pelo fabricante.
- Tensão Máxima de Carga: Representa a máxima tensão que a bateria pode suportar durante sua carga, sem comprometer sua vida útil devido à sobre tensão.

As tensões usuais entre pilhas variam de acordo com a química envolvida.

(MICHELINI, 2020, p.19)

- Baterias de zinco carbono – 1,5V
- Baterias alcalinas – 1,5V
- Baterias de lítio-dióxido de manganês – LiMnO_2 – 3V
- Baterias de lítio-cloreto de tionila – LiSOCl_2 – 3,6V
- Baterias de lítio-bissulfeto de ferro – LiFeS_2 – 1,5V

As tensões usuais para os principais tipos de baterias recarregáveis são

(MICHELINI, 2020, p.20):

- Baterias de NiCd – 1,2V
- Baterias de NiMh – 1,2V
- Baterias de chumbo-ácido – 2, 4, 6 ou 12V
- Baterias de Lítio íon – 2,8V - 3,2V - 3,6V ou 3,7V

2.4 ESTADO DE CARGA

O estado de carga (SOC) representa a porcentagem de energia acumulada na bateria. Para calcular basta dividir a carga disponível pela total e expressar o resultado em porcentagem (STA SISTEMA E TECNOLOGIA APLICADA, 2022).

2.5 ESTADO DE SAÚDE

O Estado de Saúde (SOH) de uma bateria ou célula de bateria é uma medida crítica que reflete sua capacidade de armazenar e fornecer energia em relação às condições iniciais. Essa estimativa é fundamental para identificar a degradação da capacidade e potência de uma bateria ao longo do tempo, bem como para prever seu fim de vida útil. O valor do SOH é expresso em porcentagem e indica a condição atual da célula em relação ao seu desempenho quando era nova. Por exemplo, uma célula ou bateria nova terá um SOH de 100%, indicando que está operando em sua capacidade máxima. À medida que a célula envelhece e sofre desgaste, seu SoH diminui. Em muitas aplicações, como veículos elétricos, uma célula com SoH abaixo de 80% pode ser considerada inutilizável, pois seu desempenho não atende mais às necessidades da aplicação (MING CHENG, 2022, p.9).

Monitorar o SOH é crucial para determinar o momento apropriado para substituir uma bateria ou célula, especialmente em sistemas críticos nos quais o desempenho e a confiabilidade são essenciais. Isso ajuda a evitar falhas inesperadas e a garantir que a energia seja armazenada e fornecida de maneira confiável ao longo da vida útil do sistema. Além disso, o diagnóstico precoce da degradação da bateria com base no SOH permite a implementação de medidas preventivas para otimizar a vida útil das baterias e economizar custos de substituição.

2.6 FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DA BATERIA

2.6.1 RESISTÊNCIA INTERNA

A resistência interna das células é crucial quando submetida a altas taxas C e primordial para ter longa vida útil. A "taxa C" é uma medida que descreve a taxa de carga ou descarga de uma bateria ou célula de bateria em relação à sua capacidade nominal. As células primárias como pilhas alcalinas e carbono-zinco tem uma resistência interna ligeiramente alta, isso limita o seu uso em aplicações de baixa corrente, como: relógios, controles e pequenas lanternas. A resistência interna aumenta no decorrer do uso, pois é um fenômeno natural que ocorre devido várias razões, incluindo as reações químicas que ocorrem dentro da bateria durante a carga e descarga. As baterias de lítio também são sensíveis ao ciclo de carga e descarga, quanto mais ciclos, menor a capacidade devido a perda de resistência interna do

material ativo dentro da célula e principalmente a perda do estoque de lítio (JIRAWATH PARNKLANG, 2020, p.2).

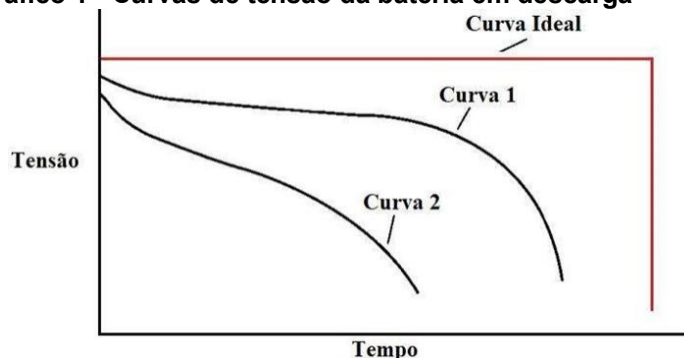
Como resultado do aumento da resistência interna, a bateria pode ter seu desempenho reduzido, isso se manifesta como uma menor capacidade, diminuição da taxa de fornecer correntes elevadas e uma menor eficiência na conversão de energia química em energia elétrica. A degradação da resistência interna é uma das principais razões pelas quais as baterias têm uma vida útil finita, além disso a resistência interna aumentada pode fazer com que a bateria aqueça mais durante a carga e descarga, o que pode afetar a segurança (PESARAN, 2001, p.5).

A incompatibilidade da resistência interna na associação em paralelo faz fluir uma corrente desigual dentro das células, quando tem-se duas baterias com grande diferença de resistência a com menor irá fornecer correntes altas resultando em diminuição da vida útil. Dados mostram que uma maior incompatibilidade de resistência interna resulta em menor tempo de vida. Quando existem duas células com resistência interna diferentes sua corrente de carga não é constante, então no início do carregamento a célula com menor resistência recebe corrente mais alta fazendo com que haja um carregamento mais rápido e a célula com maior resistência resultará em um aumento de corrente no final da carga (RADU GOGOANA, 2014, p.3).

2.6.2 TENSÃO NOMINAL

A tensão nominal de uma bateria é o valor declarado pelo fabricante quando a bateria está carregada e em repouso, ou seja, sem carga nos terminais. No Gráfico 1 é descrita a curva ideal da tensão, ela se mantém constante durante todo período e decai instantaneamente em um certo tempo. No entanto, a tensão real da bateria varia conforme ela é descarregada e devido à sua resistência interna.

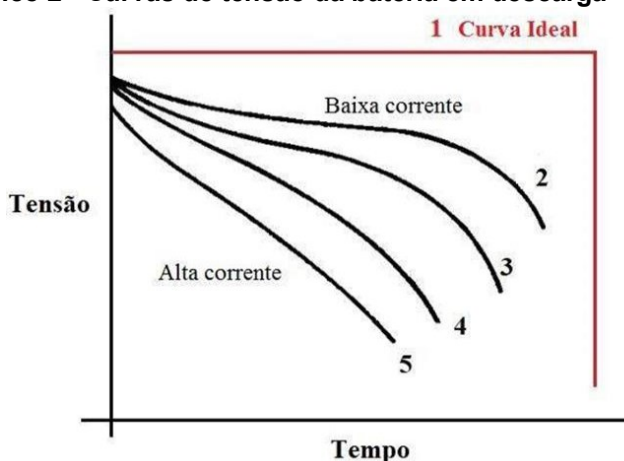
A resistência interna da bateria cria uma queda de tensão à medida que a corrente flui através dela. Isso é especialmente evidente quando a bateria é submetida a altas taxas de descarga, como em bicicletas elétricas ou veículos elétricos, a queda de tensão devido à resistência interna pode causar uma diminuição na tensão nos terminais da bateria à medida que a corrente aumenta, como descrita nas curvas 1 e 2, essas curvas variam de acordo com a eletroquímica e condições de descarga (MICHELINI, 2020, p.26).

Gráfico 1 - Curvas de tensão da bateria em descarga

Fonte: MICHELINI (2020)

2.6.3 CORRENTE DE DESCARGA

Com baixa corrente de descarga, a tensão tende a permanecer mais constante, e as perdas devido à resistência interna são reduzidas. No Gráfico 2 é possível constatar que com baixa corrente a tensão é mais constante e as perdas são reduzidas e em períodos mais longos de descarga ocorre a redução da capacidade. Nas outras curvas com cargas mais pesadas a corrente de descarga é mais alta, a tensão de descarga da bateria diminui mais rapidamente. Isso é evidenciado pelas curvas com inclinação mais expressiva, indicando uma queda de tensão mais acentuada, nesse comportamento é reduzido os ciclos da bateria comprometendo a vida útil e capacidade (MICHELINI, 2020, p.27).

Gráfico 2 - Curvas de tensão da bateria em descarga

Fonte: MICHELINI (2020)

O Quadro 1, descreve o número de ciclos de carga e descarga em função da corrente elétrica é um exemplo típico de como a taxa de corrente afeta a vida útil de uma célula ou bateria. A regra geral é que, quanto menor a taxa de corrente (ou seja,

uma carga ou descarga mais lenta), mais ciclos a célula ou bateria pode suportar antes de atingir o final de sua vida útil. Isso ocorre porque altas taxas de corrente podem criar estresses adicionais nas células, resultando em desgaste mais rápido, aquecimento excessivo e degradação química mais rápida. Portanto, descargas mais lentas e cargas mais suaves geralmente prolongam a vida útil da célula (MICHELINI, 2020, p.129).

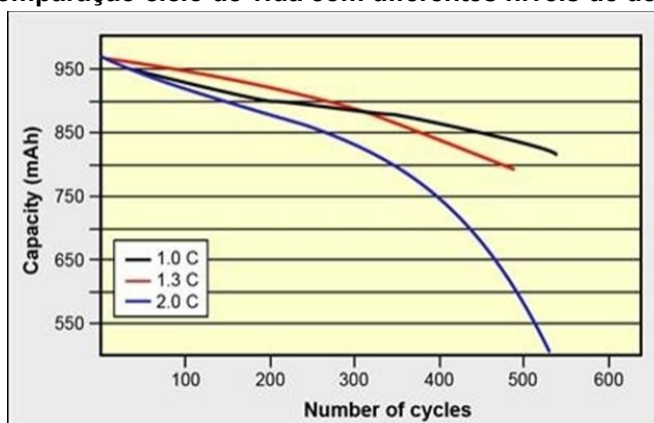
Quadro 1 - Número de Ciclos x Corrente de Descarga

Corrente de descarga - % da corrente nominal	Nº de ciclos de descarga
100%	300-500
50%	1200-1500
25%	2000-2500
10%	3750-4700

Fonte: MICHELINI (2020)

O Gráfico 3 ilustra como a taxa de corrente de descarga afeta a capacidade que uma bateria de íons de lítio com um cátodo de cobalto pode suportar. O Gráfico 3 compara o ciclo de vida de células de íons de lítio com cátodo de cobalto com três taxas de descarga 1C, 1.3C e 2C. A taxa 1C indica uma descarga lenta a 2C representa uma taxa de descarga rápida, enquanto a 1.3C uma descarga moderada. A bateria descarregada a 2C tem uma vida útil significativamente mais curta em comparação com a bateria descarregada a 1C. A célula com descarrega de 2C suporta cerca de 450 ciclos completos antes que sua capacidade caia para metade do nível original, então o desgaste de uma bateria aumenta com cargas mais altas.

Gráfico 3 – Comparação ciclo de vida com diferentes níveis de descarga

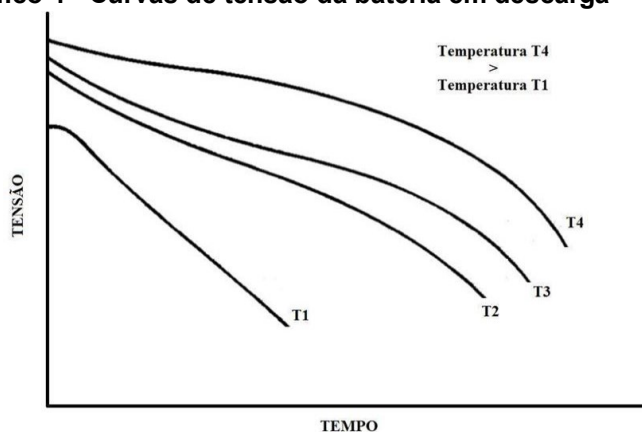


Fonte: (BUCHMANN, 2011)

2.6.4 TEMPERATURA DURANTE A DESCARGA

A temperatura de operação das células são fundamentais para segurança de operação e vida útil. Apresenta-se no Gráfico 4 uma variação de capacidade e tensão para diferentes temperaturas, T1 é a menor temperatura, a atividade química dentro das células da bateria diminui levando a uma redução na capacidade disponível e na taxa de descarga máxima, devido à menor mobilidade dos íons e elétrons no eletrólito e materiais ativos da bateria. A resistência interna da bateria também tende a aumentar em temperaturas baixas. Geralmente o melhor desempenho é encontrado entre 20°C e 40°C onde as baterias de íons de lítio geralmente oferecem o melhor desempenho em termos de capacidade, eficiência e vida útil. Em elevadas temperaturas a resistência diminui, permitindo que a bateria forneça correntes de descarga mais elevadas decorrente disso a energia normalmente aumenta (MICHELINI, 2020, p.29).

Gráfico 4 - Curvas de tensão da bateria em descarga



Fonte:MICHELINI (2020)

O desempenho da bateria de íons de lítio diminui quando é alocada ao calor e injetada tensões acima da máxima. O ideal é manter a temperatura abaixo dos 30°C e carregá-la com tensão abaixo de 4,2V por célula.

O Quadro 2 mostra como a capacidade da bateria diminui após 3 meses de armazenamento a diferentes temperaturas, tanto com uma carga de 40% quanto de 100%, demonstra que com o tempo as baterias podem perder capacidade, independentemente da carga de armazenamento. É evidente que em temperaturas mais elevadas e com uma carga de 100% tendem a acelerar a perda de capacidade da bateria do que aquelas armazenadas com uma carga de 40%. Isso pode ser

relevante ao planejar o armazenamento de baterias por períodos prolongados. Portanto para prolongar a vida útil das baterias, é fundamental armazená-las em condições adequadas, com temperaturas moderadas e com uma carga parcial, geralmente cerca de 40% a 50% ao longo de períodos de armazenamento (MICHELINI, 2020, p.130).

Quadro 2 - Capacidade x Temperatura

Temperatura	Carga 40%	Carga 100%
0 °C	98%	94%
25 °C	96%	80%
40 °C	85%	65%
60 °C	75%	60%

Fonte:MICHELINI (2020)

2.6.5 TIPO DE DESCARGA

Existem dois tipos de cargas, as CA e CC. Na descarga contínua não há interrupções de corrente, a bateria fica sempre na tensão nominal. Já na intermitente CA a descarga ocorre em períodos assim a bateria fica em repouso. Esse tipo de descarga é interessante porque permite que sua tensão se recupere durante os períodos de repouso (MICHELINI, 2020, p.131).

2.6.6 TENSÃO DE CARREGAMENTO

A tensão de carga de uma bateria depende de vários fatores como temperatura, taxa de carga e tipo de bateria. As células de lítio normalmente são carregadas com tensões até 4,2V por célula, essa tensão oferece a capacidade máxima da célula, mas também acelera a degradação e reduzindo a vida útil da bateria. Diminuindo a tensão de carga para cerca de 3,92V por célula é uma estratégia que visa prolongar a vida útil da bateria. Cada diminuição de tensão ajuda a minimizar o estresse nas células, aumentando o número de ciclos que a bateria pode suportar. Cada 0,1V de redução pode significar uma duplicação no número de ciclos. Porém o preço de se reduzir a tensão de carga é alto, pois não se consegue a capacidade total da célula. É importante encontrar um equilíbrio entre a vida útil desejada da bateria e a capacidade necessária para atender às demandas da aplicação.

O Quadro 3 demonstra o número de ciclos e a capacidade da bateria em função da tensão de carregamento (MICHELINI, 2020, p.130).

Quadro 3 - Número de Ciclos x Tensão de Carga

Tensão de Carga	Nº de ciclos de descarga	Capacidade da bateria depois de carregada
4,30 V	150-250	114%
4,20 V	300-500	100%
4,10 V	600-1000	86%
4,00 V	2000	72%
3,92 V	2400	58%

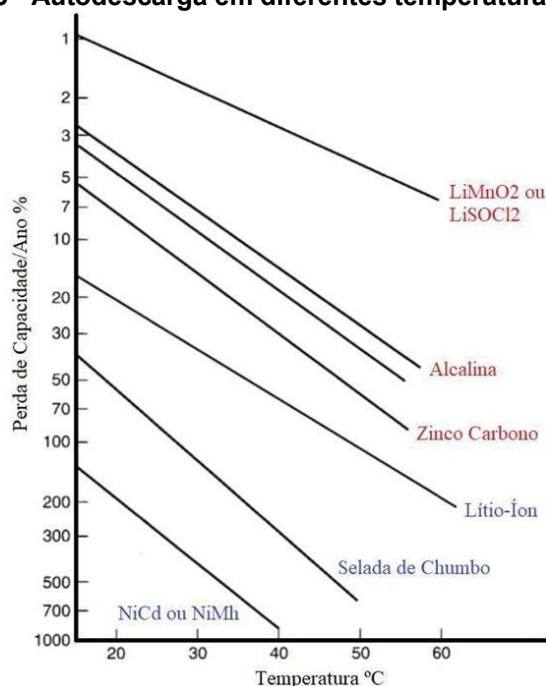
Fonte: MICHELINI (2020)

Para algumas aplicações onde a longevidade da bateria é extremamente importante, como em veículos elétricos e satélites é utilizado tensões menores de carregamento para aumentar a vida útil da bateria. Caso queira aumentar a vida da bateria de notebook utilizando a técnica de tensão menor, raramente conseguirá, já que o carregador fornecido pelo fabricante normalmente não permite este tipo de ajuste.

2.6.7 AUTODESCARGA E ARMAZENAMENTO

A temperatura de armazenamento das baterias e estado de sua carga (SOC- *state of charge*) tem influência na perda da capacidade da bateria. Observa-se em temperaturas altas ocorre a corrosão dos eletrodos e perda dos íons de lítio, em temperaturas baixas ocorre alterações química. Além disso, baterias totalmente carregadas provocam uma degradação maior do que a armazenar com carga parcial, por outro lado, se a bateria é armazenada com pouca carga, ela pode se descarregar abaixo da tensão mínima, o que pode danificar a bateria permanentemente.

O Gráfico 5 faz uma comparação com temperatura e taxa de autodescarga, pode-se observar que o maior vilão é a temperatura, quanto maior a temperatura maior será a autodescarga, por isso é aconselhável armazenar baterias em locais frescos, para prolongar a vida útil.

Gráfico 5 - Autodescarga em diferentes temperaturas

Fonte: MICHELINI (2020)

2.7 ENVELHECIMENTO E CICLAGEM

O envelhecimento das baterias é um fenômeno natural que ocorre à medida que elas são submetidas a ciclos de carga e descarga. Entende-se por ciclagem, carregar e descarregar a baterias seguidas vezes, quanto mais ciclos a bateria é submetida mais ela perde sua capacidade, os valores de corrente de carga e de descarga contribuem para determinar se a degradação da bateria será mais rápida ou mais lenta. Portanto, o aumento da resistência interna da bateria e a diminuição da sua capacidade são as principais consequências do envelhecimento. Para prolongar a vida útil das baterias é um desafio complexo devido à interação de múltiplos fatores. O equilíbrio entre desempenho e longevidade é fundamental, e a escolha de como usar e cuidar das baterias deve ser baseada nas necessidades específicas da aplicação (MICHELINI, 2020, p.127).

2.8 COMO PROLONGAR A VIDA DAS CÉLULAS DE LÍTIO-ÍON

Os fabricantes estipulam uma vida útil das baterias entre 300 e 500 ciclos de carga e descarga, mas esses números não são extremamente confiáveis. A vida útil das baterias é uma estimativa baseada em condições ideais, e a realidade pode variar significativamente com base em diversos fatores. Aqui estão os principais fatores que afetam o número de ciclos e a capacidade de uma bateria:

- Valor da corrente de carga;
- Valor da corrente de descarga
- Temperatura em que essa bateria é utilizada e armazenada;
- Tensão de carga;
- Estado de carga em que a bateria é armazenada;

É importante reconhecer que as estimativas de vida útil fornecidas pelos fabricantes são apenas diretrizes gerais e que o desempenho real pode variar. O Quadro 4 ilustra a perda da capacidade em função do número de ciclos (MICHELINI, 2020, p.129).

Quadro 4 - Perda de Capacidade x Número de Ciclos

Ciclos	Capacidade (%)
1	95
50	92
100	88
150	84
200	80
250	75

Fonte: MICHELINI (2020)

Nota-se no Gráfico 5 que a bateria não inicia nos 100%, visto que ao sair da fábrica a célula já é submetida a aumento da temperatura ambiente até a bateria chegar ao consumidor final ela já tem algum tempo de vida.

As baterias de íons de lítio não sofrem do "efeito memória" que afetava as baterias de níquel-cádmio. Portanto, não é necessário realizar descargas completas para evitar esse efeito. De fato, descargas profundas podem prejudicar a vida útil das baterias de lítio.

Algumas práticas que os usuários podem adotar para prolongar a vida das baterias.

- Armazenar as baterias em temperatura ambiente 20 a 25°C;
- Evitar deixar a baterias exposta ao Sol ou dentro do carro fechado sob Sol;
- Não usar aparelhos com baterias em locais muito quentes;
- Evitar descarregar completamente as baterias;
- Manter as entradas de ar do seu aparelho desobstruídas;
- Evite os chamados carregadores ultrarrápidos que carregam a bateria em menos de uma hora. Lembre-se que quanto mais lenta a carga, mais a bateria irá durar;

- Recarregar as baterias periodicamente, não deixando que a tensão por célula caia abaixo de 3 V.

2.9 SELEÇÃO DE BATERIAS

Os materiais das baterias possuem um limite para geração de energia, atualmente em torno de 1500 Wh/Kg. Porém, na prática, chegam no máximo a 500 Wh/Kg (MICHELINI, 2020, p.128).

Uma boa bateria é aquela que tem muita energia, vida longa e não polui. Lamentavelmente no mercado existem baterias com pouca energia, vida curta e que prejudicam o meio ambiente. É fundamental adquirir baterias de fontes confiáveis, preferencialmente dos fabricantes recomendados, e evitar ofertas suspeitas que prometem alta capacidade a preços muito baixos. A segurança e a qualidade das baterias são cruciais para garantir o bom funcionamento dos dispositivos e a proteção do meio ambiente.

A definição da bateria é um aspecto crítico que deve ser considerado no início de um projeto, especialmente em dispositivos eletrônicos, sistemas de armazenamento de energia, veículos elétricos e outras aplicações que dependem de energia portátil. A escolha da bateria adequada pode afetar significativamente o desempenho, a eficiência e a durabilidade do sistema. Aqui estão algumas razões pelas quais a definição da bateria é importante no início do projeto:

- Tipo de bateria: não recarregável ou recarregável;
- Sistema eletroquímico: cada sistema eletroquímico tem suas vantagens e desvantagens em relação aos requisitos do equipamento;
- Tensão: nominal, máxima e mínima permitidas, regulação de tensão, perfil da curva de descarga;
- Corrente de descarga: corrente nominal e de pico;
- Ciclo de trabalho: contínuo ou intermitente; se intermitente, qual a percentagem de tempo para cada corrente;
- Requisitos de temperatura: faixa de temperatura sobre qual operação é necessária;
- Tempo de operação: tempo de funcionamento do equipamento alimentado exclusivamente pela bateria;
- Requisitos físicos: tamanho, forma, peso, terminais;
- Autodescarga: perda da capacidade da bateria quando armazenada;

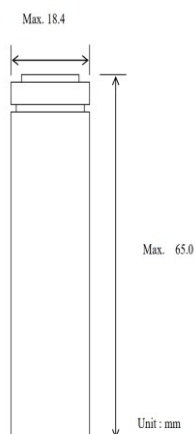
- Ambientalmente amigável: dificuldade de transporte e descarte;
- Vida útil: número de ciclos de carga e descarga (se recarregável); ciclo de carga (se recarregável): tempo de carregamento e características da fonte de carregamento; eficiência de carregamento;
- Condições ambientais: vibração, choque, rotação, aceleração, condições atmosféricas (pressão, umidade etc.);
- Segurança e Confiabilidade: taxas de falha; liberdade de vazamento; uso de componentes potencialmente perigosos ou tóxicos; tipo de efluentes gasosos ou líquidos, alta temperatura; operação em condições severas ou potencialmente perigosas;
- Manutenção e reposição: facilidade de aquisição de baterias, distribuição acessível, facilidade de substituição da bateria, instalações de carregamento disponíveis;
- Custo: custo inicial; custo operacional ou ciclo de vida.

2.10 CARACTERÍSTICAS DAS CÉLULAS 18650

As células 18650 são um tipo comum de bateria recarregável de íons de lítio, amplamente utilizadas em dispositivos eletrônicos, incluindo notebooks e laptops. A nomenclatura "18650" se refere às dimensões da célula, como descrito abaixo e apresentado na Figura 5.

- "18" representa o diâmetro da célula em milímetros.
- "65" representa a altura da célula em milímetros.
- "0" indica que a célula tem uma forma cilíndrica.

Essas células são populares devido à sua capacidade de armazenamento de energia e à capacidade de serem recarregadas muitas vezes. São utilizadas em uma variedade de aplicações, desde eletrônicos portáteis até veículos elétricos, devido à sua combinação de alta densidade de energia e tamanho relativamente compacto.

Figura 5 - Dimensão célula 18650

Fonte: Manual SAMSUNG ICR18650-22F

A célula 18650 é recarregável e utiliza em sua composição íon de lítio que trabalha com faixa de tensão de 2,5V a 4,2V sendo a nominal de 3,7V, sua capacidade varia de 1800mAh a 3500mAh. No momento da carga pode-se fornecer de 20% a 70% da corrente da bateria até que cada célula atinja 4,2V. Deve-se levar em consideração a carga uniforme da mesma, tendo uma variação máxima de +/- de 0,05V. No momento da descarga o corte de tensão das células é de 3V e alguns modelos 2,5V. Caso a célula de lítio seja descarregada abaixo de 2,4V pode interromper o circuito de proteção das baterias e ocorrer sérios danos, para esses casos existem células protegidas incluindo um circuito interno que impede sobrecarga. Os acumuladores de energia desprotegidos podem ser sobrecarregados e explodir causando uma propagação de incêndio. O tempo médio de carga é aproximadamente 4 horas, podendo variar com base em vários fatores, como a capacidade da bateria, a corrente de carga, a tensão do carregador e a tecnologia de carregamento. Geralmente, as células 18650 são carregadas com uma corrente que é uma fração de sua capacidade nominal. Para muitas células 18650 comuns, a corrente típica de carregamento está na faixa de 0,5C a 1C, onde "C" é a capacidade nominal da bateria.

Por exemplo, se com uma célula 18650 com uma capacidade nominal de 2600 mAh e estiver carregando a uma taxa de 1C, a corrente de carregamento seria de 2600 mA o tempo de carga é então calculado dividindo a capacidade da bateria pela corrente de carga, neste exemplo, a carga levaria aproximadamente 1 hora para atingir 100%. No entanto, muitos carregadores de bateria têm circuitos de carregamento que ajustam a corrente conforme a bateria se aproxima da capacidade máxima, o que pode prolongar o tempo de carga. É importante observar que carregar

a uma taxa mais baixa, como $0,5C$, geralmente é mais suave para a bateria e pode prolongar sua vida útil, embora o tempo de carregamento seja mais ideal. Carregar a uma taxa mais alta pode encurtar o tempo de carga, mas também pode aumentar o estresse na bateria e a produção de calor, o que deve ser monitorado para evitar superaquecimento (NEVERMAN, 2022).

2.11 IMPEDÂNCIA DAS CÉLULAS

A impedância da bateria é entendida como uma barreira para descarga de elétrons, podendo fornecer correntes altas ou baixas, visto isso os agentes externos dificultam atribuir um valor único para a impedância, dentre eles a temperatura, o estado de carga e histórico da célula (RATNAKUMAR, 2005, p.3).

Segundo PARNKLANG, et al 2020 existem dois métodos para aferir a resistência interna de uma bateria, em corrente contínua (CC) e em corrente alternada (CA). No método CC calcula-se a queda de tensão em apenas uma determinada corrente de carga, analisando a resistência pura e fornecendo valores reais para uma carga CC. O método CA considera a reatância capacitiva e indutiva, gerando valores em uma carga que se comporta como um motor indutivo. Apesar das variações significativas nos valores de resistência obtidos pelos métodos mencionados, nenhum deles é considerado correto ou incorreto.

Com a resistência interna é possível obter corrente máxima de fornecimento, evolução do calor da bateria e eficiência energética, por isso o conhecimento preciso da resistência interna de uma bateria é um dos fatores mais importantes para o projeto. Geralmente para encontrar a resistência é aplicado uma tensão no dispositivo e aferido a corrente resultante, caso a carga seja regida pela lei de ohm basta dividir a tensão pela resistência. Vale lembrar que a resistência interna da célula é um sistema não LTI (linear invariante no tempo) por conta disso sua definição é complexa e inequívoca (HANS GEORG SCHWEIGER, 2010, p.19).

2.12 ASSOCIAÇÃO DE CÉLULAS/BATERIAS

A combinação de células é essencial devido à incapacidade de uma única célula de satisfazer os requisitos de potência e energia em veículos elétricos, várias células precisam ser interligadas em série e paralelo para formar uma bateria capaz

de fornecer a potência e energia necessárias para atender às demandas (LONG ZHOU, 2017).

Na associação em série ocorre a soma das tensões de cada célula e a corrente se mantém, sua ligação se resume em unir o polo negativo da primeira bateria no polo positivo da seguinte e na associação em paralelo tem-se o aumento de corrente elétrica e mesma tensão, nesta situação basta interligar os positivos e negativos, essas ligações então representadas na Figura 6. Já na ligação mista é possível aumentar a tensão e a corrente elétrica (LGN, 2020).



Na associação em série caso uma célula apresente defeito, pode inviabilizar o uso da bateria por tensão abaixo do limite ou se comportar como circuito aberto zerando a tensão de saída e na associação em paralelo se uma única célula apresentar tensão baixa em comparação com as outras ela irá descarregar todas do pack interferindo diretamente na autonomia e aquecimento (LGN, 2020).

Na prática, a não uniformidade das células influenciará no desempenho de toda a bateria, por causa da capacidade inconsistente e estado inicial de carga (SOC) inicial, se uma única célula conectada em série apresentar desigualdades na resistência interna, ela pode restringir a corrente máxima devido à menor densidade de potência, resultando na redução da densidade de energia. Além disso, essa situação pode diminuir a vida útil de todas as células devido à autodescarga, por esse motivo o ciclo de vida da bateria é menor do que uma única célula mesmo as células individuais têm um ciclo de vida de mais de 1000 ciclos em grupo, sem uma tecnologia de balanceamento de tensão, o ciclo de vida real da bateria pode ser inferior a 200 ciclos, mas a capacidade da bateria é limitada pela capacidade mínima residual e recarregável das células individuais. (LONG ZHOU, 2017, p.2).

É impossível encontrar células com correntes idênticas, pois sempre existirá diferença entre as células devido a inconsistências no processo de fabricação e no ambiente que é armazenada. Para mitigar os defeitos o balanceamento de células é

essencial em sistemas de bateria para garantir que as células em série permaneçam equilibradas em termos de estado de carga (SOC) e não sofram sobrecarga ou descarga excessiva (NA SHI, 2021, p.2).

Aqui estão algumas considerações importantes:

- **Balanceamento Passivo:** O balanceamento passivo envolve o uso de resistores de equilíbrio ou circuitos de dissipação de energia para igualar o SOC das células. Quando uma célula atinge um SOC mais alto, a energia extra é dissipada como calor até que todas as células atinjam o mesmo SOC. Isso evita sobrecarga da célula com maior capacidade
- **Balanceamento Ativo:** O balanceamento ativo é uma abordagem mais eficaz, pois redistribui ativamente a carga entre as células. Isso é geralmente feito por meio de circuitos de controle que transferem a energia de células com maior SOC para células com menor SOC. O balanceamento ativo é mais eficiente em termos de energia, pois não desperdiça energia na forma de calor.

É importante destacar que as baterias de alta corrente são comumente utilizadas em veículos elétricos e ferramentas elétricas. Portanto, ao determinar a capacidade de um conjunto de células em série, é calculada com base na célula de menor capacidade. Por esse motivo, é de extrema importância avaliar a autonomia de cada célula ao lidar com baterias recuperadas (SO MIYATAKE, 2013, p.7).

2.13 BMS

O BMS ou Sistema de Gerenciamento de Bateria, é um componente crítico em sistemas de armazenamento de energia que incluem baterias, como veículos elétricos, sistemas de energia renovável e eletrônicos portáteis. A função principal de um BMS é monitorar, controlar e proteger a bateria, garantindo seu funcionamento seguro e otimizado. Aqui estão algumas das funções importantes de um BMS (HOSSAM A. GABBAR, 2021, p.7):

- **Monitoramento do Estado da Bateria:** O BMS acompanha o estado de cada célula da bateria, incluindo sua tensão, corrente, temperatura e estado de carga. Isso fornece informações precisas sobre o desempenho da bateria.

- **Balanceamento de Células:** O BMS equilibra as células da bateria para garantir que elas operem com tensões e estados de carga semelhantes. Isso evita desequilíbrios que podem levar à sobrecarga ou descarga excessiva de algumas células.
- **Proteção contra Sobrecarga:** O BMS impede que a bateria seja carregada além de seus limites seguros, o que pode causar danos permanentes à bateria e representar um risco de segurança.
- **Proteção contra Descarga Excessiva:** O BMS evita que a bateria seja descarregada abaixo de níveis críticos, o que pode danificar a bateria e reduzir sua vida útil.
- **Gerenciamento Térmico:** O BMS monitora e controla a temperatura da bateria para evitar superaquecimento, o que pode ser prejudicial à bateria e ao ambiente circundante.
- **Diagnóstico de Problemas:** O BMS pode identificar e relatar problemas ou falhas nas células da bateria, permitindo intervenções oportunas para evitar danos.
- **Registro de Dados:** O BMS armazena informações sobre o histórico de uso e desempenho da bateria, o que é valioso para avaliações a longo prazo e manutenção.
- **Comunicação e Interface:** Em muitas aplicações, o BMS oferece uma interface para que os usuários monitorem o status da bateria e configurem parâmetros.
- **Prolongamento da Vida Útil:** Ao otimizar o carregamento e descarregamento da bateria e garantir condições operacionais ideais, o BMS ajuda a prolongar a vida útil da bateria.
- **Segurança:** Uma das funções mais críticas do BMS é garantir a segurança da bateria e do sistema em que está instalado, prevenindo situações de risco, como incêndios ou falhas catastróficas.

2.14 TÉCNICAS DE ESTIMAÇÃO DO SOH

A degradação das células de íons de lítio inclui fatores não lineares. A capacidade e potência total são diminuídas inversamente com a resistência interna, essa degradação ocorre desde o processo de fabricação pelo calor e ascendente no

consumidor final com uso diário em mobilidade elétrica a detecção do SOH é de grande importância em termos de segurança e confiabilidade do produto. Com o uso das baterias durante ciclos de carga e descarga as baterias são degradadas irreversivelmente devido reações eletroquímicas dentro das células. A aferição da impedância é importante para determinar SOH e tem forte relação com a capacidade restante da bateria.

Para garantir um funcionamento eficaz do sistema de gerenciamento de bateria, aumentar a vida útil da bateria e garantir a segurança do usuário, é essencial acompanhar certos parâmetros. Dois desses parâmetros críticos são o "Estado de Carga" (SOC), que indica o nível de carga elétrica presente na bateria, e o "Estado de Saúde" (SOH), que reflete a condição geral da bateria. Tanto o SOC quanto o SOH não podem ser medidos diretamente, requerem métodos de estimativa. Um método comum para determinar o SOC é o uso da "contagem de Coulomb," que envolve a contabilização integral da carga elétrica que entra ou sai da bateria ao longo do tempo. Isso fornece uma estimativa precisa do nível de carga da bateria. Já o cálculo do SOH é frequentemente realizado usando o "método de desvanecimento da capacidade." Esse método avalia como a capacidade da bateria diminui com o tempo e o uso, proporcionando uma medida do estado geral da saúde da bateria (AZIS; JOELIANTO; WIDYOTRIATMO, 2019, p.4). A Equação (1) apresenta o cálculo do SOH.

$$SOH = \frac{Ci}{C0} \times 100\% \quad (1)$$

Onde Ci é a capacidade da célula estimada e $C0$ capacidade retirada pela folha de dados.

O SOH também pode ser calculado com base na resistência interna medida, como apresentado na equação (2).

$$\begin{aligned} SOH(\%) &= \frac{(Reol - Rbat)}{(Reol - Rnew)} \times 100\% \\ Reol &= 160\% \times Rnew \end{aligned} \quad (2)$$

Onde $Reol$ é a resistência interna no final da vida útil, $Rbat$ é a resistência interna medida e $Rnew$ é a resistência interna da bateria nova.

O conhecimento do SOH é fundamental para classificação das baterias e para determinar o seu uso em segunda vida.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 OBTENÇÃO DAS CÉLULAS DE LÍTIO

O primeiro método é comprar células de lítio novas pois tem-se certeza de que as baterias são seguras, de qualidade, que durarão o tempo desejado e provavelmente não haverá surpresas, entretanto, as baterias de lítio são caras.

Outra forma para obter células de lítio é encontrar baterias usadas em dispositivos eletrônicos recarregáveis. As células são projetadas para durar milhares de ciclos, porém muitas baterias acabam estragando prematuramente por diversas razões, assim no descarte esses equipamentos na maioria das vezes levam juntos as células em boas condições que com certos critérios poderão ser reutilizadas.

Baterias usadas raramente são fornecidas gratuitamente, como em empresas, lojas que fazem reparos em notebooks, centros de reciclagem e clínicas que utilizam dispositivos alimentados por baterias. Em muitos locais, descartar baterias de lítio no lixo comum é na verdade considerado ilegal. Portanto, muitas dessas empresas optam por pagar por um serviço de descarte adequado, em vez de enfrentar as despesas e complicações associadas ao descarte de resíduos eletrônicos. Ao oferecer-se para recolher essas baterias usadas, as empresas economizam em custos e evitam as complicações envolvidas no gerenciamento de resíduos eletrônicos. A medida que essa prática se tornou mais comum, em alguns lugares começaram a ser cobradas taxas pelo descarte de baterias usadas, mas esses custos ainda são consideravelmente baixos em comparação com a aquisição de novas células.

Existem algumas desvantagens associadas às células de segunda vida. Ao desmontar e reciclar baterias usadas, muitas incertezas surgem, isso ocorre porque não é possível determinar com precisão a qualidade da bateria, se as células são genuínas ou falsificadas, qual foi o histórico de uso do proprietário anterior, qual é a capacidade restante das células e por quanto tempo ainda podem funcionar de maneira confiável. Então é necessário verificar cada célula para obter a capacidade e determinar quais mantêm carga e tem capacidades parecidas, esse processo de verificação pode levar dias ou meses dependendo da quantidade de células e testadores. É importante o teste pois a montagem do pacote de células com diferentes expectativas de vida danificara as células vizinhas. As células iniciais de baixa capacidade podem impactar negativamente as demais, resultando em um arrastamento que força as células saudáveis a compensar, levando à sobrecarga e, conseqüentemente, à rápida deterioração reduzindo seu tempo de vida. Destaca-se,

assim, a importância dos dados de capacidade e da compreensão da vida útil individual de cada célula.

Abaixo é descrito o datasheet das células retiradas do notebook, sendo um ponto importante as impedâncias foram aferidas em CA após a carga pelo fabricante, medida a 1Khz. A medição da impedância em CA após a carga a 1 kHz é uma prática valiosa para avaliar e monitorar as características elétricas das baterias, ajudando a determinar sua saúde e desempenho. Essa informação é útil tanto para usuários individuais quanto para fabricantes de baterias.

Os Quadro 5, Quadro 6 e Quadro 7 são informações sobre várias marcas e modelos de células que foram retiradas de baterias de notebook, nelas inclui dados que foram retirados do datasheet, como impedância, capacidade nominal, tensão nominal, taxas de carregamento e descarga. Essas informações são essenciais para avaliar o desempenho e a adequação das células na montagem do pack.

Quadro 5 - Datasheet células segunda vida parte 1

Marca		LG	LG	LG	LG	LG	Samsung
Modelo		LGDB118650	LGDA31865	LGDB318650	LGEAS318650	LGABC21865	ICR18650-28
Impedancia		70mΩ	70mΩ	70mΩ	80mΩ	70mΩ	100mΩ
Capacidade Nominal		2600mAh	2200mAh	2600mAh	2200mAh	2800mAh	2800mAh
Tensão Nominal		3,75V	3,6V	3,65	3,6V	3,72V	3,75V
Carregamento	Máximo	4,35V	4,2V	4,2V	4,2V	4,3V	4,3V
	Padrão	1275mA	1075mA	1250mA	1075mA	1350mA	1400mA
	Máximo	2550mA	2150mA	2500mA	2150mA	2700mA	2800mA
Descarga	Corte	3V	3V	3V	3V	3V	2,75V
	Padrão	510mA	430mA	500mA	430mA	540mA	560mA
	Máximo	5100mA	3225mA	3750mA	4300mA	5400mA	5600mA

Fonte: Autoria própria (2023)

Quadro 6 - Datasheet células segunda vida parte 2

Marca		Samsung	Samsung	Sony	Sanyo	Sanyo	Sanyo
Modelo		ICR18650-26C	ICR18650-22F	US18650GR(G8)	UR18650RX	UR18650A	UR18650FB
Impedancia		100mΩ	100mΩ	100mΩ	25mΩ	100mΩ	100mΩ
Capacidade Nominal		2600mAh	2200mAh	2600mAh	2050mAh	2250mAh	2400mAh
Tensão Nominal		3,7V	3,6V	3,6V	3,6V	3,6V	3,7V
Carregamento	Máximo	4,2V	4,2V	4,2V	4,2V	4,2V	4,2V
	Padrão	1300mA	1100mA	1000mA	1360mA	1510mA	2400mA
	Máximo	2600mAh	2200mA	2500mA	x	2150mA	x
Descarga	Corte	2,75V	2,75V	2,75V	2,75V	3V	3V
	Padrão	520mA	440mA	520mA	390mA	2150mA	x
	Máximo	5200mA	4400mA	4400mA	20A	4300mA	4800mA

Fonte: Autoria própria (2023)

Quadro 7 - Datasheet células segunda vida parte 3

Marca		Sanyo	Great Power	Panasonic	Panasonic	BAK	FST
Modelo		UR18650F	ICR18650	CGR18650CG	CGR18650AF	18650C4	18650
Impedancia		100mΩ	80mΩ	XmΩ	XmΩ	70mΩ	35mΩ
Capacidade Nominal		2600mAh	2200mAh	2250mAh	2050mAh	2200mAh	2000mAh
Tensão Nominal		3,7V	3,7V	3,6V	3,6V	3,7V	3,6V
Carregamento	Máximo	4,2V	4,2V	4,2V	4,2V	4,2V	4,2V
	Padrão	1750mA	1100mA	1500mA	1365mA	440mA	1000mA
	Máximo	2500mA	2200mA	1500mA	1365mA	2200mA	2000mA
Descarga	Corte	3V	2,75V	3V	3V	3V	2,75V
	Padrão	2500mA	440mA	430mA	390mA	440mA	1000mA
	Máximo	5000mA	4400mA	4300mA	3900mA	2200mA	10A

Fonte: Autoria própria (2023)

O Quadro 8 informa as químicas das baterias de íons de lítio encontradas nas baterias de notebook, essas informações são fundamentais para entender como as células se comportam, suas características de desempenho e considerações de segurança.

Quadro 8 - Química das células

Marca	Modelo	Catodo	Ânodo	Abreviação Química
LG	LGDB118650	LiMn2O4	Carbono	LMO ou li-manganês - Óxido de lítio manganês
LG	LGDA31865	LiCoO2	Carbono	LCO ou li-cobalto- Óxido de lítio cobalto
LG	LGDB318650	LiCoO2	Carbono	LCO ou li-cobalto- Óxido de lítio cobalto
LG	LGEAS318650	LiNiMnCoO2	Carbono	NMC- Níquel cobalto manganês
LG	LGABC21865	LiMn2O4	Carbono	LMO ou li-manganês - Óxido de lítio manganês
Samsung	ICR18650-28	LiMn2O4	Carbono	LMO ou li-manganês - Óxido de lítio manganês
Samsung	ICR18650-26C	LiCoO2	Carbono	LCO ou li-cobalto- Óxido de lítio cobalto
Samsung	ICR18650-22F	LiCoO2	Carbono	LCO ou li-cobalto- Óxido de lítio cobalto
Sony	US18650GR(G8)	LiNiMnCoO2	Carbono	NMC- Níquel cobalto manganês
Sanyo	UR18650RX	LiMn2O4	Carbono	LMO ou li-manganês - Óxido de lítio manganês
Sanyo	UR18650A	LiNiMnCoO2	Carbono	NMC- Níquel cobalto manganês
Sanyo	UR18650FB	x	x	x
Sanyo	UR18650F	LiCoO2	Carbono	LCO ou li-cobalto- Óxido de lítio cobalto
Great Power	ICR18650	x	x	x
Panasonic	CGR18650CG	x	x	x
Panasonic	CGR18650AF	LiNiMnCoO2	Carbono	NMC- Níquel cobalto manganês
BAK	18650C4	x	x	x
FST	18650	x	x	x

(*) não foi possível encontrar a química da célula no datasheet.

Fonte: Autoria própria (2023)

3.2 ESPECIFICAÇÕES DE CÉLULAS

As especificações cruciais para construção do pack serão:

- Capacidade: Informa quanto de energia a célula pode armazenar e fornecer, medida em ampere-hora (Ah) ou miliampere-hora (mAh).

- Taxa máxima de descarga: Corrente máxima e mínima que pode ser retirada da célula.
- Taxa C: Valor máximo de corrente que a célula pode ser carregada e descarregada, no carregamento é recomendado que as células sejam carregadas em até 0,5 C e para melhor vida útil, cargas com 0,2C.

3.3 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS BATERIAS

3.3.1 PRIMEIRA ETAPA: ADQUERIR BATERIAS

Para adquirir as baterias de notebook, entrou-se em contato com diversas lojas de informática. No entanto, a maioria delas não respondeu aos nossos contatos, algumas prometeram retornar, mas somente uma loja respondeu às mensagens e generosamente fez a doação de 7 baterias de notebook. Além dessas doações, adquiriu-se outras 5 baterias com pessoas físicas. No entanto, mesmo com essa quantidade de baterias, não era suficiente para construir um pacote com autonomia adequada. Portanto, optou-se por comprar dois lotes de 10 baterias de notebook, totalizando 32 baterias.

3.3.2 SEGUNDA ETAPA: DESMONTAGEM DAS BATERIA NOTEBOOK

No momento da desmontagem das baterias foi um processo demorado pois não era possível utilizar ferramentas perfurantes devido a fragilidade dos materiais. A bateria do notebook é lacrada com poucos espaços para abertura, então foi necessário o uso de espátula de plástico e mesmo assim ocorreu dificuldades.

É fundamental ressaltar a relevância do conhecimento de baterias de lítio íons para realizar a desmontagem de forma segura. Isso se deve ao fato de que a maioria das células ainda podem conter carga, e durante o processo de remoção das fitas que interconectam as células, há o risco de curto-circuito por contato nos polos das células. A Fotografia 1 apresenta uma bateria de notebook lacrada.

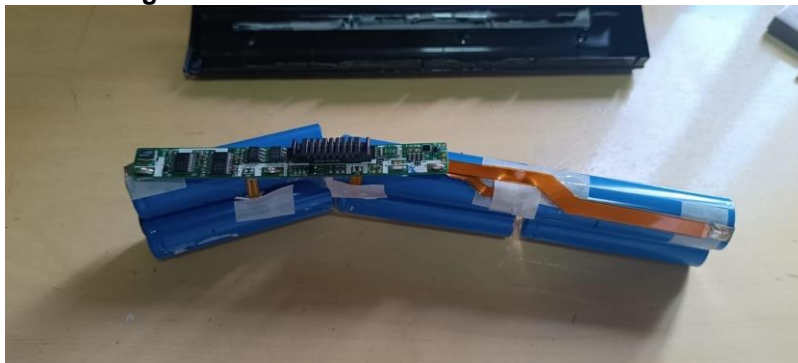
Fotografia 1 - Bateria de notebook



Fonte: Autoria própria (2023)

Após o processo de abrir o invólucro da bateria apresentado na Fotografia 2, é o momento de extrair as células. Essas células são conectadas através de uma fita de níquel presas com solda ponto, associadas em paralelo e série.

Fotografia 2 - Pack de baterias vista interna



Fonte: Autoria própria (2023)

Observa-se que grande parte das baterias de notebook continham 6 células, embora algumas unidades apresentassem 4 ou 8 células. No total, desmontou-se 32 baterias de notebook, resultando em um total de 173 células.

3.3.3 TERCEIRA ETAPA: SEPARAÇÃO VISUAL DAS CÉLULAS E ANÁLISE DE TENSÃO

Inicialmente, 15 células foram prontamente descartadas devido a uma análise visual que revelou vazamentos e sinais de corrosão em seus invólucros demonstrado na Fotografia 3. Adicionalmente, outras 18 células foram eliminadas do processo devido às tensões que se encontravam abaixo de 1,5 V. Somando essas duas análises, um total de 33 células foram descartadas.

Fotografia 3 - Células descartadas



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.4 QUARTA ETAPA: DISPOSITIVO PARA TESTE DA CAPACIDADE

No teste de capacidade, o principal objetivo era encontrar uma solução econômica, para atender a essa necessidade. Iniciou-se a busca em fóruns tanto no Brasil quanto no exterior, visando identificar um instrumento. Por meio de pesquisas encontrou-se uma placa ZB2L3, que atendia aos requisitos, como apresentado na Figura 7 .

Figura 7 - Testador de capacidade ZB2L3



Fonte: Aliexpress (2023)

Conforme o Quadro 9 a placa requer uma tensão de alimentação de 4,5 a 6V DC, que pode ser fornecida através de uma conexão micro USB, sua corrente máxima de descarga durante o teste de capacidade é de 3A, essa corrente pode ser controlada por meio de dois resistores cerâmicos e o dispositivo é projetado para testar células com tensão máxima de 15V.

Quadro 9 - Parâmetros operacionais placa ZB2L3

Tensão da fonte de alimentação	4,50 a 6,00 VDC
Corrente de trabalho	<70 mA
Tensão de descarga	1,00 a 15,00 V
Capacidade de resolução	0,01V
Faixa de tensão final	0,50 a 11,00 V
Corrente máximo do suporte	3 A
Capacidade de resolução no teste	0,001 A
Erro máximo de medição tensão	1%+/- 20 mV
Erro máximo de medição capacidade	1,5%+/- 8 mA

Fonte: Autoria própria (2023)

Para iniciar os testes é necessário que as células estejam completamente carregadas. Nesse sentido, realizou-se outra busca para encontrar um carregador que se encaixasse de forma ideal no projeto encontrando-se o modelo TP4056, como apresentado na Figura 8 e no Quadro 10 informa seus parâmetros operacionais de trabalho.

Figura 8 - Módulo de carga TP4056



Fonte: Aliexpress (2023)

Quadro 10 - Parâmetros operacionais TP4056

Tensão da fonte de alimentação	5 VDC
Corrente de trabalho	0,15 mA
Tensão saída regulada	4,2 V
Corrente de carga	500 mA

Fonte: Autoria própria (2023)

Por fim foi necessário fazer a compra de base de slot para as células 18650 que serão usadas nos testadores e carregadores. A Figura 9 ilustra o modelo de base adquirido.

Figura 9 - Slot células 18650
4 port



Fonte: Aliexpress (2023)

Na Figura 10 descreve os custos dos materiais para a construção da bancada de testes de capacidade, dizendo que US\$ 1 Dólar americano igual a R\$ 5,00 Real brasileiro, Zb2I3 custou R\$7,65 cada, placa de carregamento R\$8,35 com 10 peças e slot para as células R\$5,65 cada. Todos esses produtos foram comprados do mesmo vendedor totalizando um frete para o Brasil de R\$30,95.

Figura 10 - Custo kit testador de capacidade



Zb2I3 testador de capacidade de bateria, tipo de descarga externa 1.2-12v bateria 1865...

US \$ 1.53 x6

Adicionar ao Carrinho

Devolução/reembolso



Placa de carregamento de módulo micro usb, placa de carregamento com proteção, fun...

18650 MICRO

US \$ 1.67 x1

Adicionar ao Carrinho

Devolução/reembolso



Venda quente 1x 2x 3x 4x 18650 caixa de armazenamento titular da bateria caso 1 2 3 4...

4x18650 With Wire

US \$ 1.13 x4

Adicionar ao Carrinho

Devolução/reembolso

Subtotal

US \$15.34 ^

Enviando

US \$6.19

Total

US \$21.53

Fonte: Aliexpress (2023)

3.3.5 QUINTA ETAPA: MONTAGEM TESTADOR

Na Fotografia 4 ilustra os testadores instalados em uma placa de madeira e interligados aos polos de alimentação para utilizar apenas uma única fonte.

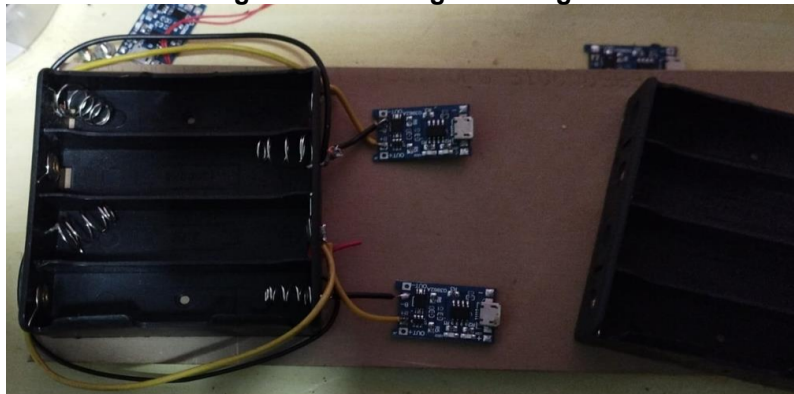
Fotografia 4 - Montagem testadores capacidade



Fonte: Autoria própria (2023)

Os carregadores foram montados da mesma forma que os testadores de corrente interligados na alimentação para utilizar uma única fonte, apresentado na Fotografia 5.

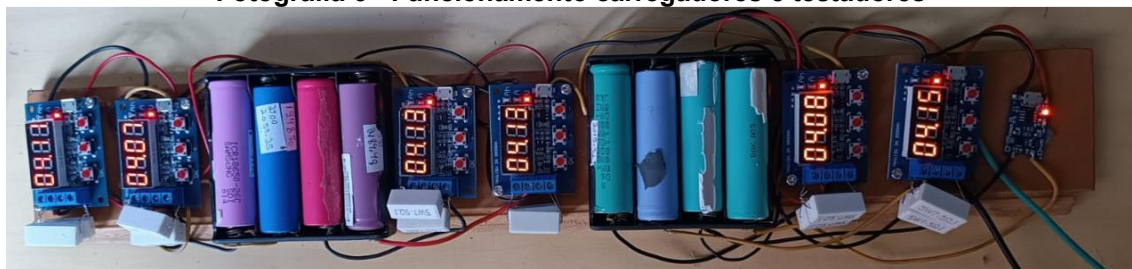
Fotografia 5 - Montagem carregador



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.6 SEXTA ETAPA: FUNCIONAMENTO CARREGADOR E TESTADORES

Após a conclusão da etapa de testadores, iniciou-se a fase de funcionamento. Neste ponto, havia 140 células restantes com tensões acima de 2,5V. O procedimento inicial consistiu no carregamento de todas as células. Era viável carregar 10 células simultaneamente, o processo de carga demandava em média de 6 a 8 horas para que alcançasse tensão de 4,2V, considerada uma carga completa, as células foram então colocadas nos slots dos testadores de capacidade apresentada na Fotografia 6, cada placa conduziu o teste em uma única célula com uma descarga de 1 Ah, a duração do teste de capacidade variou entre 1 a 2 horas. Após a conclusão do teste, a célula foi retirada do testador e recarregada novamente.

Fotografia 6 - Funcionamento carregadores e testadores

Fonte: Autoria própria (2023)

No entanto, esse método de teste de capacidade das células provou ser bastante demorado. Isso ocorreu porque era necessário retirar as células dos slots de carga e testadores repetidamente, além de ocorrer problemas de mau contato nos slots e queima prematura das placas de carregamento. Considerando esses elementos, tornou-se claro que esse método seria impraticável para as 140 células. A necessidade de monitorar minuciosamente o progresso de carga e descarga a cada minuto tornaria o processo excessivamente demorado e complexo, além dos desafios relacionados a mau contato e riscos de queima dos carregadores, dada a ausência de proteções contra curtos.

Assim, a solução para agilizar e simplificar o processo de teste era encontrar um testador que fosse capaz de realizar o ciclo completo de carga, descarga e recarga final de forma totalmente automática, reduzindo a necessidade de monitoramento constante. Nesse contexto, optou-se pelo LiitoKala Lii-500 com custo de R\$130,00 apresentado na Fotografia 7.

Fotografia 7 - Liitokala testador de capacidade

Fonte: Autoria própria (2023)

Esse dispositivo tem a capacidade de testar 4 células simultaneamente, realizando automaticamente o ciclo de carga das células, testando sua capacidade e, em seguida, recarregando-as. Essa abordagem viabilizou o teste das 140 células, uma vez que não exigia intervenção constante, exceto no início, quando era necessário configurar o modo de teste e a corrente de descarga, que era sempre definida para carga de 1 A e descarga 500 mA, no Quadro 11 é possível verificar os parâmetros de funcionamento do LiitoKala Lii-500.

Quadro 11 - Parâmetros operacionais Lii-500

Tensão da fonte de alimentação	12 VDC
Corrente de trabalho	2A
Tensão saída regulada	1,48 a 4,2 V
Corrente de carga	300/500/700/ 1000 mAh
Corrente descarga	250/500 mAh

Fonte: Autoria própria (2023)

Após a conclusão dos testes nas 140 células, foram registradas em uma planilha as informações de capacidade, impedância, marca e tensão após a carga e repouso de aproximadamente 8 meses disponibilizada no apêndice A. A organização das células após o teste de capacidade é demonstrada na Fotografia 9. Cada célula recebeu uma etiqueta para registrar informações como capacidade e impedância.

Fotografia 8 - Células analisadas



Fonte: Autoria própria (2023)

Foram encontrados 18 modelos de células, apresentado no Quadro 12 mas todas de íons de lítio, as marcas que mais apareceram foram LG com 5 modelos, SANYO com 4 modelos e Samsung com 3 modelos.

Quadro 12 - Modelos de células

mAh	LiitoKala(mΩ)	ITECH(mΩ)	YAOREA(mΩ)	Marca	Tensão
2102	85	75,6	73,2	BAK 18650C4	4,18
1280	125	97	94,9	FTS	4,08
1118	31	68,4	66,4	GREAT POWER	4,06
1888	97	70,3	66,5	LGABC21865	4,09
2307	25	76,9	71,5	LGDA31865	4,14
2015	52	75,2	70,8	LGDB118650	4,09
2305	36	80,4	76,7	LGDB318650	4,14
1552	39	86,1	80,6	LGEAS31865	4,1
2345	120	47,6	41,2	PANASONIC CGR18650CG	4,17
1457	28	58,4	54,2	PANASONIC CGR18650F	4,12
1609	50	91,7	89,6	SAMSUNG ICR18650-22F	4,16
2231	28	66,5	55,3	SAMSUNG ICR18650-26C	4,13
2404	29	63,2	54,4	SAMSUNG ICR18650-28A	4,15
1665	49	119,8	121,6	SANYO UR18650A	4,15
2184	18	65	63,2	SANYO UR18650F	4,14
1935	58	69,5	65,8	SANYO UR18650FB	4,14
2134	29	62,8	57,7	SANYO UR18650RX	4,05
2586	32	86,9	79,3	SONY SE US18650GR	4,16

Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.7 SÉTIMA ETAPA: TESTE DE RESISTÊNCIA

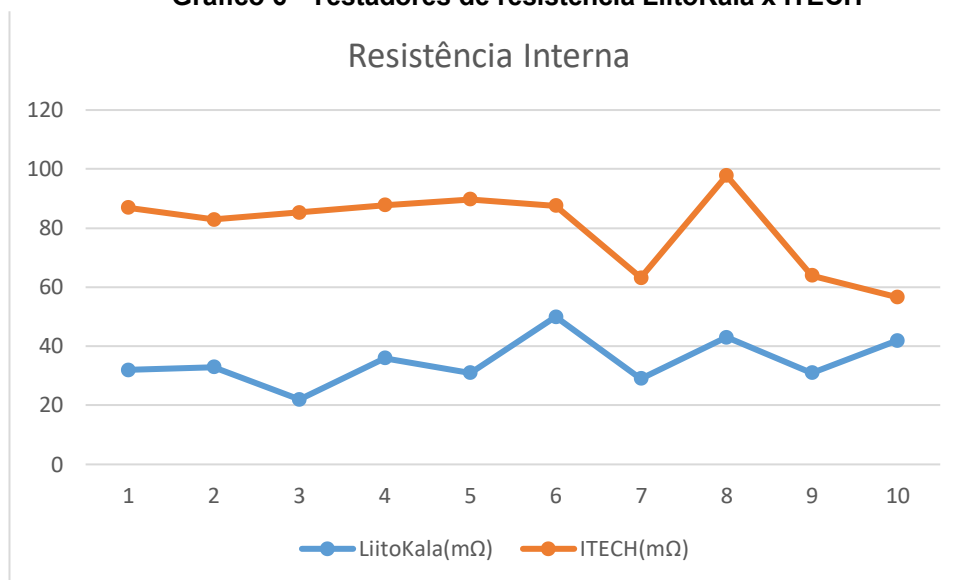
Um dos recursos do carregador inteligente LiitoKala Lii- 500 é a capacidade de avaliar a resistência interna das células. No entanto, durante os testes, observou-se inconsistências na medição dessa resistência. Isso ocorreu porque células com baixa capacidade frequentemente apresentavam baixa resistência, mas os valores medidos em uma mesma célula variavam consideravelmente, mesmo em curtos intervalos de tempo. Devido a essa instabilidade, tornou-se arriscado confiar em uma única medição, que poderia ser considerada aleatória.

Devido à situação descrita anteriormente, surgiu a necessidade de avaliar a confiabilidade do LiitoKala. Para realizar essa avaliação, os testes de resistência interna foram conduzidos no testador de resistência interna IT5101E, fabricado pela ITECH, no laboratório da UTFPR, apresentado na Fotografia 9. No Quadro 13, pode-se conferir os resultados obtidos para as dez primeiras células e uma comparação no Gráfico 6.

Quadro 13 - Testadores de resistência LiitoKala x ITECH

LiitoKala(mΩ)	ITECH(mΩ)	Marca
32	86,9	SONY SE US18650GR
33	82,9	SONY SE US18650GR
22	85,3	SONY SE US18650GR
36	87,8	SONY SE US18650GR
31	89,8	SONY SE US18650GR
50	87,6	SONY SE US18650GR
29	63,2	SAMSUNG ICR18650-28A
43	97,8	SONY SE US18650GR
31	64	SAMSUNG ICR18650-28A
42	56,6	SAMSUNG ICR18650-28A

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 6 - Testadores de resistência LiitoKala x ITECH

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao analisar o Gráfico 6, fica evidente que nenhum dos valores fornecidos pelo LiitoKala se aproxima dos resultados obtidos com o IT5101E da ITECH. Além disso, ao plotar os resultados no Gráfico 6, torna-se visível a variação nas aferições. Como resultado, conclui-se que o dispositivo Liitokala não fornece informações precisas sobre a resistência interna das células.

Fotografia 9 - Testador de baterias ITECH

Fonte: Autoria própria (2023)

Dado que o equipamento ITECH possui um custo financeiro considerável, verificou-se uma pesquisa em busca de um testador de resistência mais acessível. A alternativa escolhida foi o equipamento da marca YAOERA, com custo de R\$260,00 apresentado na Fotografia 10.

Fotografia 10 - Testador de baterias YAOERA

Fonte: Autoria própria (2023)

Realizou-se uma nova comparação entre os equipamentos ITECH e YAOERA. O equipamento ITECH, que originalmente estava equipado com pontas de prova no formato de jacaré, não era o método ideal para realizar a aferição das células 18650.

Portanto, faz-se uma adaptação usando um fio rígido de 2,5 mm², que foi medido e tem uma resistência de 1,4 mΩ. Essa modificação contribuiu para garantir que os testadores apresentassem uma variação mínima nos valores aferidos, como pode ser visto na Quadro 14, os valores do ITECH já foram subtraídos os 1,4 mΩ da resistência adicional.

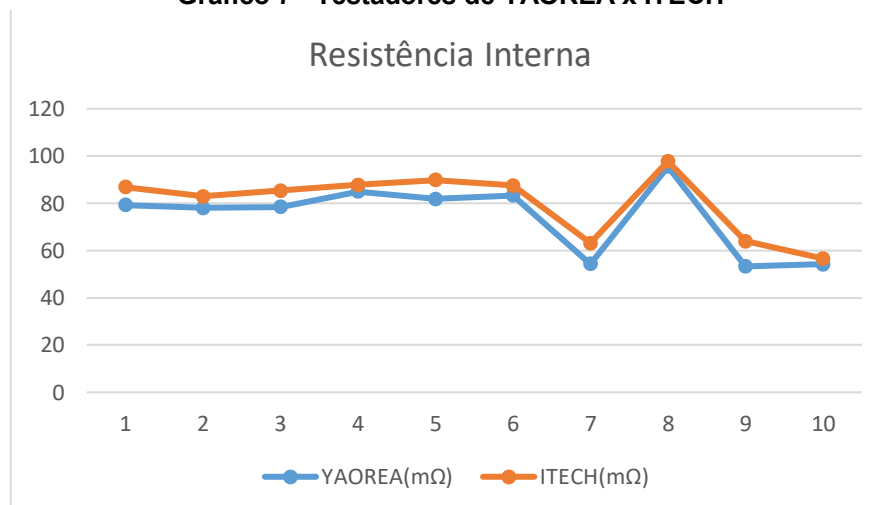
Quadro 14 - Testadores de YAOREA x ITECH

YAOREA(mΩ)	ITECH(mΩ)	Marca
79,3	86,9	SONY SE US18650GR
78,1	82,9	SONY SE US18650GR
78,4	85,3	SONY SE US18650GR
84,9	87,8	SONY SE US18650GR
81,9	89,8	SONY SE US18650GR
83,4	87,6	SONY SE US18650GR
54,4	63,2	SAMSUNG ICR18650-28A
95,5	97,8	SONY SE US18650GR
53,3	64	SAMSUNG ICR18650-28A
54,2	56,6	SAMSUNG ICR18650-28A

Fonte: Autoria própria (2023)

É evidente no Gráfico 7 que o testador de resistência ITECH sempre fornece valores mais elevados devido à adaptação das pontas de prova, resultando no aumento da resistência entre a garra de jacaré e o condutor. No entanto, é importante ressaltar que essa diferença é mínima, levando à conclusão de que o YAOREA oferece valores igualmente confiáveis em comparação ao ITECH.

Gráfico 7 - Testadores de YAOREA x ITECH



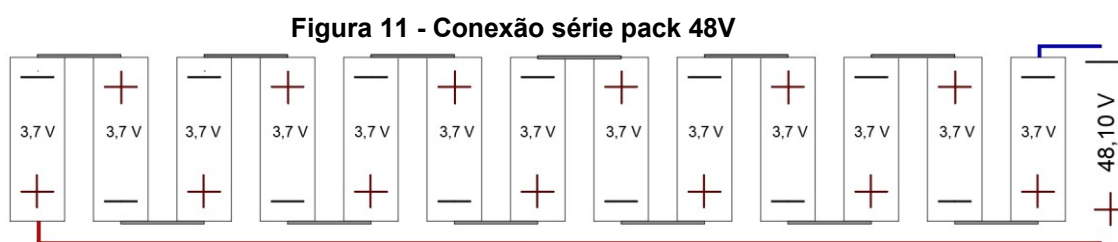
Fonte: Autoria própria (2023)

3.4 CONSTRUÇÃO DO PACK

Para criar pack de baterias de lítio de maior capacidade, são realizadas combinações de células, o que permite obter diferentes tensões e capacidades.

3.4.1 PARA ELEVAR A TENSÃO ELÉTRICA

O pack contara com uma tensão nominal de 48,10V, que posteriormente poderá ser utilizado em motores elétricos. Para chegar nessa tensão, 13 células serão conectadas em série, no formato em zigue-zague, apresentado na Figura 11. O intervalo de tensão máxima e mínima do pack é determinado pelo Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS), que opera em cada associação em série dentro da faixa de 3,0V a 4,15V. Isso significa que o pack funciona com uma tensão que varia de 39V a 53,95V.



Fonte: Autoria própria (2023)

3.4.2 PARA AUMENTAR A CAPACIDADE

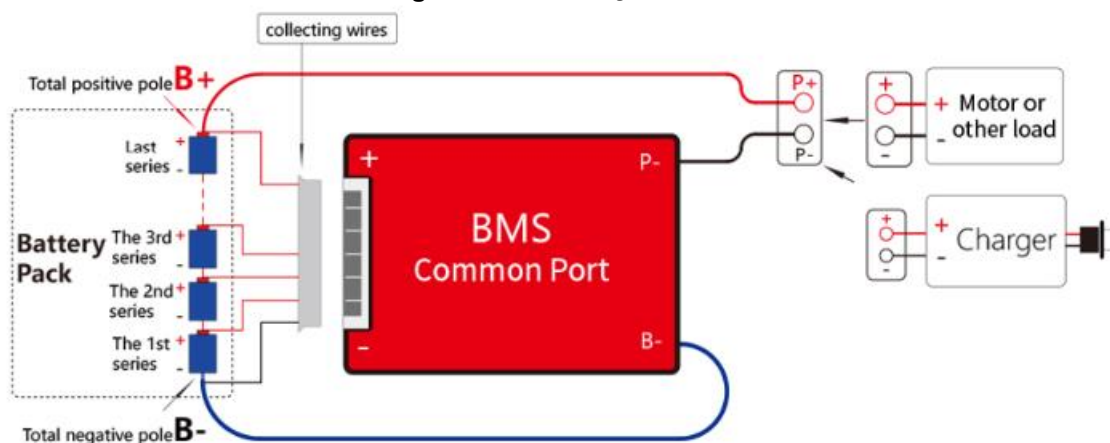
Ao desmontar as 33 baterias de notebook, totalizando 173 células, observou-se uma variação considerável nas capacidades individuais das células de segunda vida. Para assegurar um desempenho equilibrado no pack 13S, optou-se por agrupar células com capacidades próximas em paralelo, a meta era ter capacidade de no mínimo uma hora de funcionamento. Esse procedimento visava não apenas a uniformidade na distribuição de carga e descarga entre as células, mas também a otimização do desempenho global do pack. Ao final do processo de seleção e agrupamento, a média de capacidade entre os paralelos foi equilibradas proporcionando uma configuração coesa e eficiente para o projeto. Essa abordagem estratégica contribui para maximizar o potencial do pack construído com células de segunda vida, assegurando um desempenho consistente e prolongando sua vida útil.

3.4.3 MODELO DO BMS

Para selecionar o Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS), é essencial ter um projeto que determine a tensão de operação do conjunto e a corrente máxima. No caso em questão, o conjunto alimentará um motor de 48V com 300W. Portanto, o BMS apropriado para essa aplicação seria um modelo 13S. Quanto à corrente de operação, foi escolhido um valor de 40 A, visando possíveis expansões de capacidade no futuro, a Figura 12 demonstra o exemplo de instalação.

O modelo selecionado é da marca DALY apresentado na Figura 12, adquirido por R\$158,00 no AliExpress. Este BMS específico oferece recursos como um sensor de temperatura para proteção, equilíbrio ativo, salvaguardas contra sobrecarga e descarga, proteção contra curto-circuito e a capacidade de detectar a voltagem de cada célula individualmente. As informações precisas do funcionamento do BMS podem-se ser encontradas no Quadro 15.

Figura 12 - Instalação BMS



Fonte: Manual DALY (2023)

Quadro 15 - Parâmetros operacionais BMS

Descarga	Corrente nominal	40 A
	Pico de corrente	120 A $\pm$ 20 A
Carga	Corrente nominal	20 A
Resistencia interna	Condutores	$\leq 20 \text{ m}\Omega$
Proteção contra sobrecarga	Sobretensão	4,25 V $\pm$ 0,05 V
	Delay de proteção	1 segundo
	Liberação	4,15 V $\pm$ 0,05V
Equilíbrio	Deteção	4,18 V
	Liberação	4,18 V
	Corrente	30 mA $\pm$ 5mA
Proteção contra subtenção	Deteção	2,7 V $\pm$ 0,1 V
	Delay de proteção	1 segundo
	Liberação	3 V $\pm$ 0,1 V
Proteção contra sobrecorrente	Deteção	1 segundo
Temperatura	Trabalho	- 20 $\sim$ 70 $^{\circ}\text{C}$
	Armazenamento	-40 $\sim$ 80 $^{\circ}\text{C}$

Fonte: Manual DALY adaptado (2023)

3.4.4 ELABORAÇÃO DO PACK

A associação em série do pack será de 13 células (13s), e a associação em paralelo deverá ser feita de modo que não ultrapasse a corrente máxima de 40A, suportada pelo BMS. Entretanto, considerando a capacidade das células, não atingirá o limite do BMS pois para o pack, utilizou-se apenas 91 células de diversas marcas mas com a mesma química, com capacidades variadas de 2586 mAh a 1662 mAh, e resistências variando de 40,7 m Ω a 121,6 m Ω , conforme aferido pelo testador de resistência YAOREA.

Para a conexão das células, empregou-se uma fita de níquel com 0,2 mm de espessura e 8 mm de largura. O sistema de gerenciamento de bateria (BMS) utilizado é da marca DALY, com equilíbrio ativo, cabo NTC e adequado para células 18650 de íons de lítio. Esse BMS é projetado para operar com correntes de até 40A e configuração de 13S, resultando em uma tensão nominal de 48V.

Antes de iniciar a montagem, realizou-se uma análise dos principais fatores que podem acelerar o desgaste das células, notando o desbalanceamento e o aquecimento como aspectos críticos. Diante da grande variação de capacidade das células de segunda vida, optou-se por equilibrá-las em paralelo, utilizou-se o site repack fornecendo a capacidade das 91 células o mesmo informara possibilidades de associações. No entanto, para assegurar uma precisão mais apurada no processo de

balanceamento, foram realizados cálculos estatísticos descritos no Quadro 16. Este método adicional visou garantir uma distribuição equitativa da carga entre as células, considerando as diferenças individuais de capacidade e otimizando o desempenho global do sistema. Após o processo de balanceamento, obteve-se uma média de capacidade para as 91 células em paralelo, que ficou em torno de 14.330 mAh.

Quadro 16 - Balanceamento células de segunda vida 18650

	1S	2S	3S	4S	5S	6S	7S	8S	9S	10S	11S	12S	13S
1P	2424	2448	2533	2307	2586	2338	2157	2432	2372	2347	2345	2184	2424
2P	2231	2285	2305	2184	2387	2292	2132	2404	2186	2091	2329	2151	2370
3P	2134	2126	2100	2148	2293	2093	2130	2088	2122	2074	2051	2084	2333
4P	2023	2039	2046	2102	1905	2040	2109	1935	2015	2035	2029	2059	1888
5P	1927	1892	1802	1980	1787	2003	2087	1895	1983	1981	1933	2012	1839
6P	1807	1818	1800	1939	1698	1897	2051	1839	1849	1904	1919	1962	1815
7P	1784	1722	1745	1671	1669	1666	1665	1735	1804	1897	1724	1877	1662
Soma paralelo mAh	14330	14330	14331	14331	14325	14329	14331	14328	14331	14329	14330	14329	14331
Média paralelo	2047	2047	2047	2047	2046	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047	2047
Variância	54216	67640	86301	42854	136514	52745	29600	75602	38991	23352	50396	11408	99808
Desvio Padrão paralelo	233	260	294	207	369	230	172	275	197	153	224	107	316
Divergência da capacidade série	0	0	-1	-1	5	1	-1	2	-1	1	0	1	-1

Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados da tabela mostram a distribuição da capacidade em e série, bem como métricas estatísticas relevantes. Aqui estão algumas análises com base nos dados fornecidos:

- Soma paralela (mAh): A soma das capacidades em paralelo para cada série permanece praticamente constante, indicando uma boa consistência nas capacidades agregadas.
- Média paralela: A média de capacidade em paralelo para as células é em média 2047 mAh, sendo apenas diferente na coluna 5S com 2046 mAh, gerando uma boa distribuição e equilíbrio entre as células.
- Variância e Desvio Padrão paralelo: A variância e o desvio padrão fornecem uma medida da dispersão das capacidades em paralelo. Valores mais baixos indicam uma distribuição mais homogênea. No geral, os valores de variância e

desvio padrão são relativamente bons, diante da variação nas células em paralelo.

- Divergência da capacidade série: Os valores indicam as diferenças em relação média da capacidade total e média dos paralelos. A maior parte apresenta divergência próxima de zero, indicando que as células em série estão equilibradas.

Esses resultados sugerem que o processo de seleção e organização das células em paralelo foi eficiente, resultando em um pack com boa consistência e equilíbrio nas capacidades.

O próximo parâmetro crítico é a temperatura. Para garantir uma dissipação de calor mais eficiente e evitar que o aquecimento de uma célula afete as vizinhas, projetou-se a disposição das células de forma que não fiquem próximas umas das outras. Para isso, foram cortadas 182 tiras de eletroduto corrugado 3/4, que não propaga chamas apresentado na Fotografia 11. Além disso, durante os testes de capacidade, identificou-se que as células vermelhas da marca SANYO tendiam a aquecer mais do que as de outros fabricantes. Por esse motivo, optou-se por posicioná-las nas laterais da bateria, para melhorar a dissipação de calor.

Fotografia 11 - Suporte células



Fonte: Autoria própria (2023)

Para otimizar a associação em paralelo, foi desenvolvida uma base personalizada, a qual desempenha o papel de alinhar precisamente as células durante o processo de solda ponto, como apresentado na Fotografia 12.

Fotografia 12 - Suporte alinhar células



Fonte: Autoria própria (2023)

Foram construídos no total 7P no formato da Fotografia 13, sendo deixado um pedaço de tira para soldar os cabos da BMS.

Fotografia 13 - Montagem associação paralelo



Fonte: Autoria própria (2023)

Após a soldagem dos 7 conjuntos em paralelo, foram dispostos da seguinte maneira: o primeiro conjunto com o polo negativo para cima, o segundo conjunto com o polo positivo para cima e assim por diante, seguindo essa lógica para os próximos conjuntos em série, sendo possível verificar na Fotografia 14.

Fotografia 14 - Associação paralelo completa pack



Fonte: Autoria própria (2023)

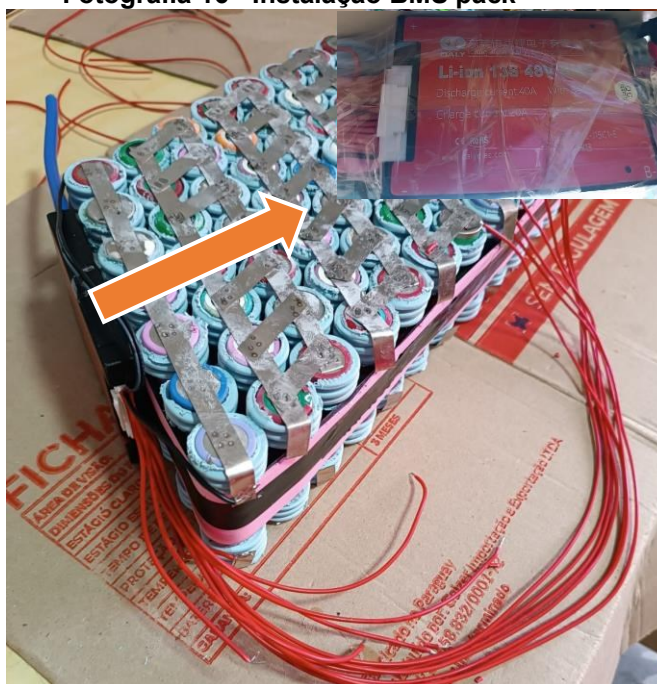
Como apresentado na Fotografia 15, foi realizada a associação em série fechando os "jumper" na primeira e segunda células superiores, bem como na segunda e terceira células inferiores, seguindo essa lógica para as demais células.

Fotografia 15 - Montagem associação serie pack



Fonte: Autoria própria (2023)

Concluindo a construção do pack chegou o momento de instalar um dispositivo de segurança o BMS da DALY 13S 48 V apresentado na Fotografia 16, contudo ao redor da bateria ficou frágil então optou-se na colocação do papel VA para proteção mecânica.

Fotografia 16 - Instalação BMS pack

Fonte: Autoria própria (2023)

A Fotografia 17 exibe o pack 48V 13S8P concluído, no qual o Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS) foi instalado e a unidade foi envolvida cuidadosamente com uma fita isolante.

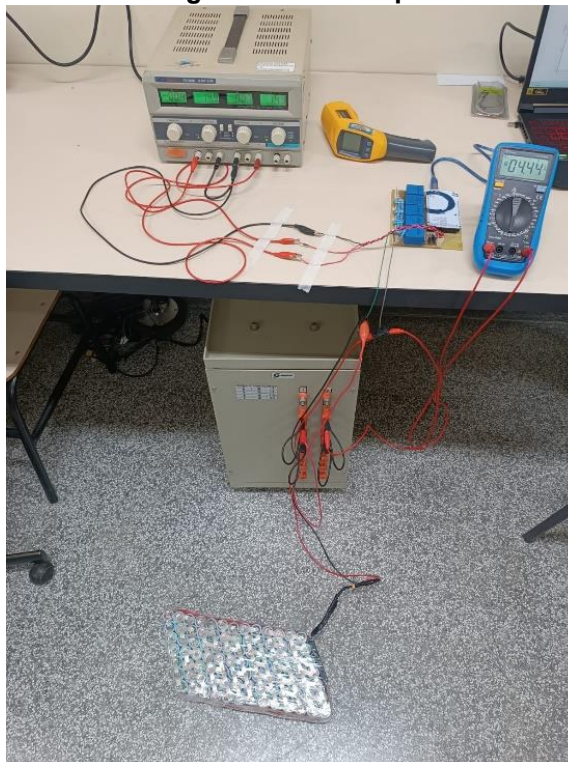
Fotografia 17 - Pack 48V

Fonte: Autoria própria (2023)

4 RESULTADOS DO ENSAIO DO PACK (CARGA/DESCARGA)

A Fotografia 18 corresponde a bancada de testes para os ensaios experimentais.

Fotografia 18 - Teste pack



Fonte: Autoria própria (2023)

O teste de descarga foi conduzido com uma carga ôhmica de $11,8\Omega$ para não estressar o pack, conforme ilustrado na Fotografia 19. No início do teste, o pack 13S7P tinha uma tensão a vazio de $54,21V$. Para determinar a corrente de descarga, utilizamos a fórmula da primeira lei de Ohm, como descrito abaixo:

$$V = R \times I \rightarrow I = \frac{V}{R} \quad (3)$$

$$I = \frac{54,21V}{11,8\Omega} = 4,59A \quad (4)$$

Fotografia 19 - Carga resistiva

Fonte: Autoria própria (2023)

A corrente calculada apresou um erro de 0,08A da real descrita na Fotografia 20. Essa discrepância é decorrente da queda de tensão durante o consumo de energia, como evidenciado no Gráfico 8.

Fotografia 20 - Corrente descarga

Fonte: Autoria própria (2023)

O resultado balanceamento do foi satisfatório, uma vez que a temperatura de descarga permaneceu constante em todas as células, evidenciado na Fotografia 21, mantendo-se a uma média de 23,4°C.

Fotografia 21 - Temperatura descarga

Fonte: Autoria própria (2023)

No momento da carga utilizou-se um carregador de 5A ficando próximo da corrente de descarga, como apresentado na Fotografia 22.

Fotografia 22 – Corrente de carga

Fonte: Autoria própria (2023)

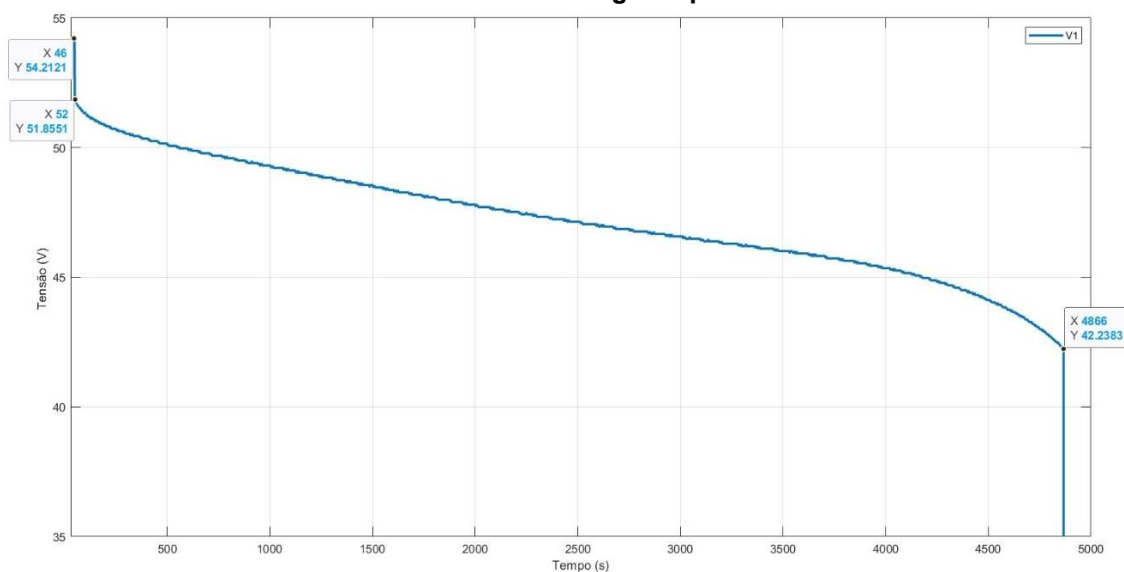
No decorrer do processo de carga, houve um aumento de temperatura em comparação com a fase de descarga apresentado na Fotografia 23. No entanto, em questão de poucos minutos, a temperatura se estabilizou, atingindo valores semelhantes aos registrados durante a descarga.

Fotografia 23 - Temperatura de carga

Fonte: Autoria própria (2023)

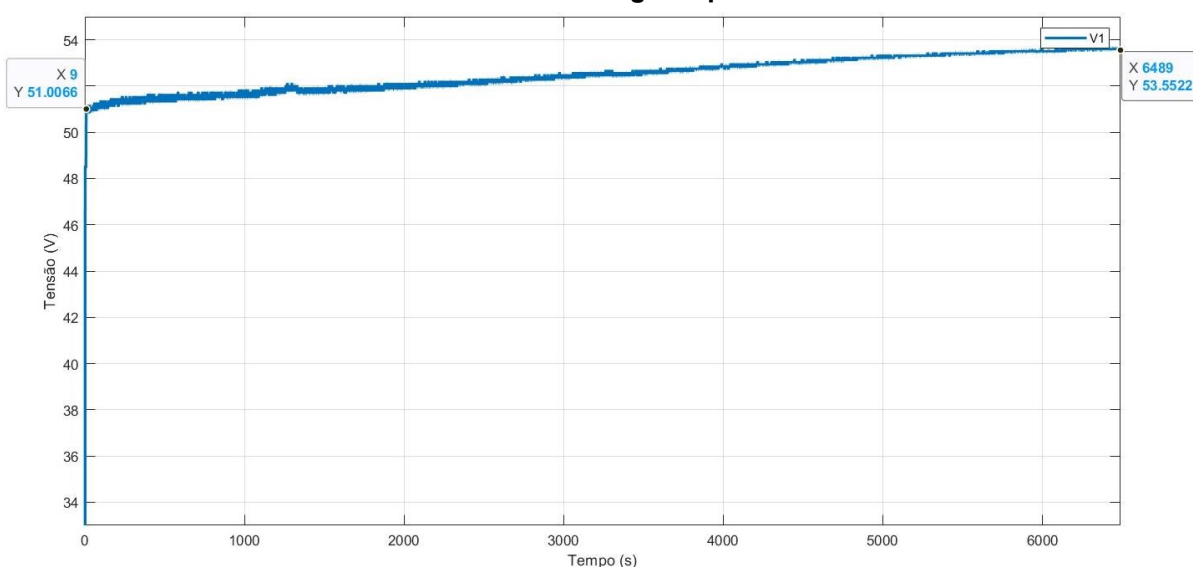
O Gráfico 8 ilustra a tensão de descarga sob uma carga de $11,8\Omega$. No eixo x, tem-se o tempo em segundos, enquanto o eixo y representa a tensão em volts. O ponto inicial, aos 46 segundos, mostra uma tensão a vazio de 54,4V. Quando a carga é conectada, ocorre uma queda acentuada na tensão, chegando a 51,8V, e ao longo do tempo, essa tensão diminui progressivamente até atingir 42,23V, momento em que o BMS interrompe a operação do pack.

Analisando a tensão das células em série, observa-se que, quando totalmente carregadas, cada associação série (S) atinge um valor de 4,18V. Durante a descarga, essa tensão cai para 3,24V, o que é ideal para células de segunda vida. O tempo total de descarga foi de 4866 segundos, o que equivale a 1 hora e 21 minutos. Esse pack demonstra ser ideal para ser utilizado em scooters elétricas ou patinetes elétricos.

Gráfico 8 - Descarga do pack

Fonte: Autoria própria (2023)

No Gráfico 9, é possível observar a curva de carga do pack, iniciando com uma tensão de 51V e alcançando 53,55V carga total. O processo de carga foi completado em um tempo total de 6489 segundos, equivalente a 1 hora e 48 minutos. A variação da tensão ao longo do tempo fornece insights sobre a eficiência do processo de carga, demonstrando a estabilidade alcançada e a rapidez com que o pack atinge sua capacidade máxima. Esses dados são cruciais para avaliar o desempenho e a confiabilidade do sistema de baterias.

Gráfico 9 - Carga do pack

Fonte: Autoria própria (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início do trabalho de pesquisa, foi observado que havia poucos estudos relacionados à reciclagem de baterias de notebook e, por isso, tornou-se importante investigar o potencial de reutilização das células 18650 em uma segunda vida.

Portanto, o objetivo geral desta pesquisa foi a construção de um pack de bateria de lítio 13S7P a partir de células de segunda vida. O uso dessas células apresentou desafios significativos, uma vez que não se tinha informações sobre seu histórico de uso, como ciclos de carga e descarga, exposição ao calor, condições de armazenamento e período de inatividade. Observou-se uma variação notável na resistência interna e na capacidade dessas células, que não se ajustava ao critério comum de que quanto maior a resistência, menor a capacidade. Isso ocorreu devido à presença de células de diversas marcas. No entanto, foi possível equalizar todas as células, garantindo o bom desempenho do pack.

Dentre os objetivos específicos deste estudo, estava a análise da resistência interna das células de notebook, comparando os resultados obtidos por meio de três equipamentos distintos. Concluiu-se que o Liitokala Lii-500 não fornece valores confiáveis em comparação com os outros testadores. Além disso, na avaliação da capacidade das células, observou-se que o testador ZB2L3 é ideal para aferir um pequeno número de células, enquanto o Liitokala Lii-500 é mais adequado para um grande número, sendo que ambos fornecem resultados confiáveis.

A pesquisa teve como hipótese que algumas baterias não são mais adequadas para uso em notebooks devido a problemas com o BMS (Battery Management System), e que uma única célula com defeito pode comprometer toda a bateria. No entanto, ao longo do trabalho, observou-se que na maioria dos casos em que as baterias não eram adequadas para notebooks, o problema estava relacionado a um defeito em uma única célula.

Considerando a metodologia proposta, fica evidente que o trabalho poderia ter se beneficiado de uma maior quantidade de baterias de notebook para aumentar a capacidade do projeto. No entanto, devido às limitações financeiras, foi possível utilizar apenas células com uma grande variação de capacidade.

Recomenda-se que, nas futuras pesquisas relacionadas aos packs de segunda vida de células de lítio, evitem-se utilizar os valores de resistência interna medidos pelo equipamento Lii-500, uma vez que se demonstrou não confiável para essa finalidade. Em vez disso, é aconselhável optar pelo testador de resistência YR1035+,

o qual pode ser substituído com sucesso pelo IT5101E, que se mostrou confiável e preciso. Seria aconselhável realizar ciclos adicionais de carga e descarga no pack para avaliar o desempenho do comportamento das baterias, isso é crucial para examinar a estabilidade do pack, especialmente considerando diferentes temperaturas externas.

Este trabalho abre portas para estudos mais aprofundados e aprimoramentos futuros no campo da reutilização de células de lítio em packs de baterias. A obtenção de dados confiáveis sobre a resistência interna e capacidade das células, bem como a avaliação de diferentes testadores, representa um avanço significativo na busca por alternativas sustentáveis e econômicas no uso de baterias de segunda vida. Além disso, a modelagem das células de forma mais precisa, considerando as variações encontradas, pode fornecer insights valiosos para otimizar o desempenho e a vida útil desses packs. A incorporação dos apêndices e aprofundamento nas análises podem enriquecer ainda mais o conhecimento nesse campo e promover soluções mais eficazes para a utilização de células de lítio em novas aplicações. O presente trabalho é, portanto, um passo inicial em direção a um campo de pesquisa promissor e dinâmico, e seu legado é a oportunidade de contribuições futuras mais robustas e precisas.

REFERÊNCIAS

AZIS, Nadana A.; JOELIANTO, Endra; WIDYOTRIATMO, Augie. State of Charge (SoC) and State of Health (SoH) Estimation of Lithium-Ion Battery Using Dual Extended Kalman Filter Based on Polynomial Battery Model. **6th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA)**, Bandung, 28 Novembro 2019. 88-93:<https://ieeexplore.ieee.org/document/8916734/authors>. Acesso em: 29 Agosto 2023.

BUCHMANN, Isidor. **Batteries in a Portable World**. Canada: Thied, 2011. CELINA MIKOLAJCZAK, Michael K. K. W. R. T. L. **Lithium-Ion Batteries Hazard**. 1º. ed. Quincy: [S.n.], 2011. Disponível em: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Hazardous-materials/rflithiumionbatterieshazard.ashx>. Acesso em: 23 Julho 2023.

FONT, Carlos H. I. **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE GERENCIAMENTO**. UFSC. Florianópolis, p. 33. 2019.

GOODENOUGH, John B. How we made the Li-ion rechargeable battery, 9 Março 2018. 1. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41928-018-0048-6>. Acesso em: 22 Maio 2023.

GREEN ELETRON , 2022. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/blog/green-eletron-supera-a-meta-de-reciclagem-de-lixo-eletronico-em-2021/>. Acesso em: 05 Maio 2023.

HANS GEORG SCHWEIGER, Ossame O. O. K. Comparison of Several Methods for Determining the Internal Resistance of Lithium Ion Cells, Berlin, 28 Janeiro 2010. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/10/6/5604#b1-sensors-10-05604>. Acesso em: 23 Junho 2023.

HOSSAM A. GABBAR, Ahamed M. O. M. R. A. Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards. **Technologies**, Oshawa, 15 Março 2021. 18. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7080/9/2/28>. Acesso em: 10 Novembro 2023.

JIRAWATH PARNKLANG, Tharnatip S. K. Y. Y. W. 18650 Battery Real Time Output Resistance Test, Osaka, 19 Maio 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9096461>. Acesso em: 15 março 2023.

KOBAYASHI, Y. *et al.* Precise Electrochemical Calorimetry of LiCoO₂/Graphite Lithium-Ion Cell : Understanding Thermal Behavior and Estimation of Degradation Mechanism, Tóquio, 17 junho 2002. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1.1487833/meta>. Acesso em: 12 junho 2023.

LANGUANG LU, Xuebing H. J. J. H. M. O. A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles, 15 Março 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775312016163?via%3Dihub>. Acesso em: 08 jun. 2023.

LGN. Associação de Baterias, São Paulo, 25 Fevereiro 2020. Disponível em: <https://lgnservicos.com.br/associacao-baterias/>. Acesso em: 05 jun. 2023.

LONG ZHOU, Yuejiu Z. M. O. L. L. A study on parameter variation effects on battery packs for electric vehicles. **Journal of Power Sources**, Xangai, v. 364, n. 1, p. 242-252, 1 Outubro 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775317310571>. Acesso em: 29 Agosto 2023.

MICHELINI, Aldo. **Bterias de Lítio**. Cotia, 2020. 9 p. Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/resources/downloads/ebookbateriasdelitio.pdf>. Acesso em: 21 Maio 2023. E-book.

MING CHENG, Xuan Z. A. R. G. W. H. S. Optimal dispatch approach for second-life batteries considering degradation with online SoH. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Pequim, 13 Novembro 2022. 15. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122009340>. Acesso em: 10 Novembro 2023.

MOURA, 2019. Disponível em: <https://www.moura.com.br/blog/descarte-de-baterias/>. Acesso em: 05 Maio 2023.

NA SHI, Zewang C. M. N. Z. H. Y. W. J. C. State-of-charge estimation for the lithium-ion battery based on adaptive extended Kalman filter using improved parameter identification, Victoria, 45, 05 Julho 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X21011993>. Acesso em: 08 Outubro 2023.

NEVERMAN, August, 12 Novembro 2022. Disponível em: <https://commonsensehome.com/18650-BATTERY/>. Acesso em: 12 junho 2023.

PESARAN, Ahmad A. Battery Thermal Management in EVs and HEVs: Issues and Solutions, Las vegas, 08 Fevereiro 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237250969_Battery_Thermal_Management_in_EVs_and_HEVs_Issues_and_Solutions. Acesso em: 12 junho 2023.

RADU GOGOANA, Matthew B. P. M. Z. B. S. E. S. Internal resistance matching for parallel-connected lithium-ion cells and impacts on battery pack cycle life. **Journal of Power Sources**, Cambridge, v. 252, n. 2014, p. 8-13, 15 Abril 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775313019447>. Acesso em: 26 Agosto 2023.

RATNAKUMAR, BV. The impedance characteristics of Mars Exploration Rover Li-ion batteries, Califórnia, 25 Novembro 2005. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775305016514?casa_token=chhRDmjamRgAAAAA:kcjdy_1WkcFTOo8nNma8cFkwxkvobPrg86BBf58Nvd0zvTX_auidTdmDNs2hMzvITMhSJltr69k. Acesso em: 12 Junho 2023.

SEUNG WOO KI, Pyeong Y. L. W. Y. K. A. J. K. Comparative Analysis of Cell-to-Cell Voltage and Internal Parametrs Variation for the series/parallel battery pack, Busan, 30 Maio 2019. 1.

SO MIYATAKE, Yoshihiko S. T. H. S. I. K. T. Discharge characteristics of multicell lithium-ion battery with nonuniform cells, Okazaki , v. 241, n. 2013, p. 736-743, 1 Novembro2013.Disponívelem:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877531300983X>. Acesso em: 26 Agosto 2023.

STA SISTEMA E TECNOLOGIA APLICADA. ESTIMANDO O ESTADO DE CARGA (SOC) DAS BATERIAS DE LI-ION, 2022. Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-litio/estimando-o-estado-de-carga-soc-das-baterias-de-li-ion>. Acesso em: 15 junho 2023.

TOLL, Micah L. **DIY Lithium Batteries How to Build Your Own Battery Packs**. 1. ed. 2017.

YUJIE WANG, Chenbin Z. Z. C. J. X. X. Z. A novel active equalization method for lithium-ion batteries in electric vehicles. **Applied Energy**, Hefei, v. 145, n. 15, p. 36-42,1Maio2015.Disponívelem:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191500166X>. Acesso em: 29 Agosto 2023.

APÊNDICE A - Dados células de notebook

mhA	LiitoKala(mΩ)	ITECH(mΩ)	YAOREA(mΩ)	Marca	Tensão
2586	32	86,9	79,3	SONY SE US18650GR	4,16
2533	33	82,9	78,1	SONY SE US18650GR	4,15
2448	22	85,3	78,4	SONY SE US18650GR	4,15
2432	36	87,8	84,9	SONY SE US18650GR	4,15
2424	31	89,8	81,9	SONY SE US18650GR	4,14
2424	50	87,6	83,4	SONY SE US18650GR	4,14
2404	29	63,2	54,4	SAMSUNG ICR18650-28A	4,15
2387	43	97,8	95,5	SONY SE US18650GR	4,12
2372	31	64	53,3	SAMSUNG ICR18650-28A	4,16
2370	42	56,6	54,2	SAMSUNG ICR18650-28A	4,15
2347	36	93,9	92,8	SONY SE US18650GR	4,08
2345	120	47,6	41,2	PANASONIC CGR18650CG	4,17
2338	125	47,5	40,7	PANASONIC CGR18650CG	4,17
2333	29	61	54,1	SAMSUNG ICR18650-28A	4,14
2329	45	99,8	97	SONY SE US18650GR	4,12
2307	25	76,9	71,5	LGDA31865	4,14
2305	36	80,4	76,7	LGDB318651	4,14
2293	29	88,5	85	LGDA31866	4,14
2292	24	54,3	42,9	PANASONIC CGR18650CG	4,17
2285	44	84,5	74,4	LGDB318655	4,15
2231	28	66,5	55,3	SAMSUNG ICR18650-26C	4,13
2186	30	81,5	78,9	SONY SE US18650GR	4,13
2184	18	65	63,2	SANYO UR18650F	4,14
2184	48	86,5	83,3	LGDB318652	4,14
2157	44	59,8	96,1	SONY SE US18650GR	4,15
2151	33	68,1	56,1	SAMSUNG ICR18650-26C	4,13
2148	34	79	76,6	SONY SE US18650GR	4,13
2134	29	62,8	57,7	SANYO UR18650RX	4,05
2132	27	64	61,1	SANYO UR18650F	4,15
2130	23	61,5	59,7	SANYO UR18650F	4,14
2126	32	60,1	57	SAMSUNG ICR18650-26C	4,13
2122	22	59,7	56	SAMSUNG ICR18650-26C	4,13
2109	41	93,9	93,7	SONY SE US18650GR	4,13
2102	85	75,6	73,2	BAK 18650C4	4,18
2100	27	64,8	62,3	SANYO UR18650F	4,14
2093	43	78,6	73,6	LGDB318654	4,14
2091	28	98	104,1	LGDA31868	4,1
2088	28	65	61,5	SAMSUNG ICR18650-26C	4,12
2087	24	98,8	62,9	SANYO UR18650F	4,1
2084	18	65,3	62,1	SANYO UR18650RX	4,14
2074	36	96,8	95,7	SONY SE US18650GR	4,12
2059	25	85,6	84,8	LGDA31870	4,09

2051	26	69,8	61,6	SAMSUNG ICR18650-26C	4,11
2051	30	72,3	66,2	SANYO UR18650RX	4,11
2046	24	66,4	62,5	SANYO UR18650F	4,13
2040	26	109	112,3	LGDA31871	4,11
2039	45	90,8	86	LGDB318650	4,12
2035	29	61,2	58,9	SAMSUNG ICR18650-26C	4,14
2029	38	66,8	64,5	SANYO UR18650RX	4,12
2023	21	63,1	59,3	SANYO UR18650F	4,01
2015	52	75,2	70,8	LGDB118650	4,09
2012	57	72,2	63,9	LGDB118650	4,08
2003	10	106,8	105,4	LGDA31867	4,11
1983	30	65,8	62,7	SANYO UR18650RX	4,13
1981	28	62,2	58,9	SAMSUNG ICR18650-26C	4,14
1980	37	76,7	72,1	SANYO UR18650RX	4,04
1962	32	65,8	61,8	SANYO UR18650RX	4,11
1939	125	94,6	88,7	LGDB318653	4,1
1935	58	69,5	65,8	SANYO UR18650FB	4,14
1933	29	63,3	60,7	SANYO UR18650F	4,12
1927	29	71,2	67,7	SANYO UR18650FB	4,14
1919	125	81,6	76	BAK 18650C4	4,17
1905	33	78,6	75,3	BAK 18650C4	4,15
1904	40	76	73,3	BAK 18650C4	4,17
1897	62	66	61,9	LGDB118650	4,12
1897	125	91,3	88,9	SAMSUNG ICR18650-26C	4,12
1895	10	68,6	66,5	SANYO UR18650RX	4,12
1892	43	70,2	62,5	LGDB118650	4,12
1888	97	70,3	66,5	LGABC21865	4,09
1877	39	66,2	64,3	SANYO UR18650F	4,14
1849	39	72,2	64,4	LGABC21865	4,12
1839	45	70,5	60,9	LGDB118650	4,13
1839	84	69,8	62,8	LGABC21865	4,13
1818	47	67,8	65,2	SAMSUNG ICR18650-26C	4,1
1815	20	67,3	63,8	PANASONIC CGR18650CG	4,14
1807	31	75,2	72,4	SAMSUNG ICR18650-26C	4,11
1804	24	73,6	70,8	SAMSUNG ICR18650-26C	4,1
1802	125	73,8	66,5	LGDB118650	4,12
1800	10	67,1	69,3	SANYO UR18650FB	4,12
1787	28	72,5	65,2	SANYO UR18650FB	4,13
1784	26	86	69,9	SANYO UR18650F	4,08
1745	125	69,3	83,1	BAK 18650C4	4,11
1724	45	69,8	66,2	LGABC21865	4,09
1722	36	69,2	61,8	SANYO UR18650F	4,15
1698	33	61,3	59,4	SANYO UR18650F	4
1698	61	85,2	80,8	LGEAS31865	4,1
1671	32	67,1	64,1	SANYO UR18650F	4,14
1669	25	70,1	67,4	SANYO UR18650FB	4,12

1666	23	71,2	68,6	SANYO UR18650F	4,15
1665	49	119,8	121,6	SANYO UR18650A	4,15
1662	25	67,13	63,8	PANASONIC CGR18650CG	4,13
1640	49	68,3	65,2	SAMSUNG ICR18650-28A	4,06
1629	30	89,7	87,2	LGDAS31869	4
1613	25	67,6	65,7	PANASONIC CGR18650CG	4,07
1609	50	91,7	89,6	SAMSUNG ICR18650-22F	4,16
1607	36	74,6	71,8	SANYO UR18650RX	4,14
1604	35	75,8	75,4	SANYO UR18650RX	4,09
1600	54	94,3	90,7	SAMSUNG ICR18650-22F	4,16
1561	24	66,7	61,8	PANASONIC CGR18650CG	4,04
1552	39	86,1	80,6	LGEAS31865	4,1
1552	60	86,5	84,8	SAMSUNG ICR18650-22F	4,15
1551	50	86,3	80,2	LGEAS31865	4,1
1551	63	91,4	88,1	SAMSUNG ICR18650-22F	4,16
1550	20	129,1	132	SANYO UR18650A	4,12
1546	62	79,3	75,4	SAMSUNG ICR18650-28A	4,02
1539	55	91,5	84,4	LGEAS31865	4,12
1538	32	77,1	75,3	SANYO UR18650RX	4
1521	41	122,2	121,2	SANYO UR18650A	4,14
1501	37	76,5	73,1	SANYO UR18650F	4,13
1465	32	73,2	70,9	SANYO UR18650F	4,07
1464	45	102,7	101,6	SAMSUNG ICR18650-26C	4,11
1457	28	58,4	54,2	PANASONIC CGR18650F	4,12
1457	44	79,1	78	SANYO UR18650RX	4
1453	45	85,1	83,6	SAMSUNG ICR18650-26C	4,08
1445	32	87,6	86,8	SANYO UR18650RX	4,07
1444	40	117,4	124,9	SANYO UR18650A	4,1
1433	38	71,6	77,8	SANYO UR18650RX	4
1294	41	123,4	129,2	SANYO UR18650A	4,14
1282	22	71,1	70	PANASONIC CGR18650CG	4,1
1280	125	97	94,9	FTS	4,08
1266	50	89,5	86,8	SAMSUNG ICR18650-28A	4,05
1251	40	79,7	78,2	SANYO UR18650F	4,13
1244	114	95,3	91,7	LGEAS31865	4,14
1225	45	90,5	88,2	LGEAS31865	4,06
1215	120	100,9	100,4	BAK 18650C4	3,98
1210	40	133,2	134,9	SANYO UR18650A	4,12
1172	87	105,3	103,6	SAMSUNG ICR18650-28A	4,03
1155	31	80,7	78,4	PANASONIC CGR18650CG	4,17
1118	31	68,4	66,4	GREAT POWER	4,06
1075	34	75,5	71,8	GREAT POWER	4,04
1070	41	80,3	78,2	GREAT POWER	4,04
1068	36	71,8	168,8	GREAT POWER	4,03
1018	90	114,2	114,6	SAMSUNG ICR18650-28A	4,01
1015	29	70	66,4	PANASONIC CGR18650F	4,07

984	80	121,8	122,5	SAMSUNG ICR18650-28A	4,03
962	108	70,1	67,6	GREAT POWER	4,02
812	33	70,4	69,2	GREAT POWER	4,03
740	93	151	156,6	SAMSUNG ICR18650-26C	4
558	125	132,4	133,5	FTS	4,05
211	28	92,5	90,3	FTS	4,02