

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

GABRIEL SOARES

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM
BANCO DE BATERIAS PARA UM AVIÁRIO EM MAFRA-SC**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

GABRIEL SOARES

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM
BANCO DE BATERIAS PARA UM AVIÁRIO EM MAFRA-SC**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. Rubiapiara Cavalcante Fernandes,
Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Soares, Gabriel

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM BANCO DE BATERIAS PARA UM AVIÁRIO EM MAFRA-SC / Gabriel Soares; orientação de Rubiara Cavalcante Fernandes. - Florianópolis, SC, 2024.

58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.
Inclui Referências.

1. Armazenamento de energia. 2. Baterias. 3. Energia renovável . 4. Sistema fotovoltaico. I. Fernandes, Rubiara Cavalcante. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM BANCO DE BATERIAS PARA UM AVIÁRIO EM MAFRA-SC.

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM BANCO DE BATERIAS PARA UM AVIÁRIO EM MAFRA-SC

GABRIEL SOARES

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de dezembro, 2023.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **RUBIPIARA CAVALCANTE FERNANDES**
Data: 15/02/2024 15:23:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Rubiapiara Cavalcante Fernandes, Dr. Eng.
IFSC

Documento assinado digitalmente
 **EDISON ANTONIO CARDOSO ARANHA NETO**
Data: 15/02/2024 18:11:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Edison Antônio Cardoso Aranha Neto, Dr. Eng.
IFSC

Documento assinado digitalmente
 **RICARDO LUIZ ALVES**
Data: 15/02/2024 15:59:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ricardo Luiz Alves, Dr. Eng.
IFSC

AGRADECIMENTOS

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração. Ao professor Rubiara Cavalcante Fernandes, pela orientação, apoio e confiança durante esse período e aprendizado adquirido ao longo do curso. Aos meus pais, pelo amor, incentivo, confiança e apoio incondicional não somente durante a elaboração deste trabalho, mas em todos os anos dedicados ao curso. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O armazenamento de energia desempenha um papel alternativo na integração bem-sucedida de fontes intermitentes de energia renovável nas redes elétricas e na garantia de um fornecimento confiável de energia. Uma das abordagens mais proeminentes para o armazenamento de energia é o uso de baterias. Primeiramente foi realizada uma extensa pesquisa sobre as principais baterias, suas principais características, sua vida útil e o modo de reciclagem após o fim da sua vida útil. Em seguida, realizou-se um estudo de caso para um aviário, localizado em Mafra-SC, com o objetivo de implementar um sistema fotovoltaico junto com um sistema de armazenamento através de baterias. Os resultados mostram que o armazenamento de energia por meio de baterias oferece diversas vantagens, como a redução do desperdício de energia, a estabilização das redes elétricas, integração de fontes renováveis e uma forma de *backup* para possíveis problemas na rede elétrica. No entanto, também apresenta desafios, como custos iniciais elevados e questões de descarte de baterias usadas. A viabilidade econômica varia dependendo das condições locais e do uso pretendido, mas a tendência global é de redução de custos.

Palavras-chave: Armazenamento de energia. Baterias. Energia renovável. Sistema fotovoltaico.

ABSTRACT

Energy storage plays an alternative role in successfully integrating intermittent renewable energy sources into electrical grids and ensuring a reliable energy supplier. One of the most prominent approaches to energy storage is the use of batteries. Firstly, extensive research was carried out on the main batteries, their main characteristics, their useful life and the way they are recycled after the end of their useful life. Next, a case study was carried out for a poultry farm, located in Mafra-SC, with the objective of implementing a photovoltaic system together with a battery storage system. The results show that energy storage using batteries offers several advantages, such as reducing energy waste, stabilizing electrical networks, integrating renewable sources and providing a backup for possible problems in the electrical grid. However, it also presents challenges such as high initial costs and issues of disposing of used batteries. The economic forecast varies depending on local conditions and intended use, but the global trend is towards cost reduction.

Keywords: Energy storage. Batteries. Renewable energy. Photovoltaic system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade Instalada (MW)	16
Figura 2 - Tecnologias para armazenamento de energia.....	18
Figura 3 - Composição de uma bateria de chumbo-ácido	19
Figura 4 - Processo eletroquímico de uma bateria de íon-Lítio.	23
Figura 5 - Processo eletroquímico de uma bateria de Sódio-Enxofre.	26
Figura 6 - Tendências de temperatura de carga e descarga da bateria.	28
Figura 7 - Processo eletroquímico de uma bateria de Níquel Cádmio.	29
Figura 8 - Processo eletroquímico de uma bateria de Fluxo.	32
Figura 9 - Composição média de uma bateria de chumbo-ácido para automóveis...34	
Figura 10 - Sistema fotovoltaico completo.	38
Figura 11 – Aviário que será feita a instalação dos módulos.	39
Figura 12 – Melhor localização para os painéis fotovoltaicos.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entres os tipos de baterias.....	36
Tabela 2 – Consumo mensal do aviário.	40
Tabela 3 – Irradiação solar diária média mensal.....	41
Tabela 4 – Dados do modulo.	42
Tabela 5 – Datasheet inversor.	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCGT	<i>Combined Cycle Gas Turbine</i>
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases do Efeito Estufa
GW	Gigawatts
HP	Horário de Ponta
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
IN	Corrente Nominal
ISC	Corrente de curto-circuito
kW	Quilowatts
MWh	Megawatt-hora
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
NGK	<i>Nippon Gaishi Kaisha</i>
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema
SIN	Sistema Interligado Nacional
UNSW	<i>University of New South Wales</i>
VOC	Tensão de circuito aberto
VRLA	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Definição do Problema	13
1.3	Objetivo Geral.....	14
1.4	Objetivos Específicos	14
1.5	Metodologia	14
1.6	Estrutura do Trabalho.....	15
2	BATERIAS PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	16
2.1	Baterias de Chumbo Ácido	19
2.1.1	Vida útil das baterias de Chumbo Ácido	21
2.2	Baterias de Íon-Lítio.....	22
2.2.1	Vida útil das baterias de Íon Lítio	24
2.3	Baterias de Sódio-Enxofre	25
2.3.1	Vida útil das baterias de Sódio-Enxofre	27
2.4	Baterias de Níquel-Cádmio.....	28
2.4.1	Vida útil das baterias de Níquel-Cádmio	30
2.5	Baterias de Fluxo	31
2.5.1	Vida útil das baterias de Fluxo	33
2.6	Reciclagem das baterias	33
2.7	Comparação entre as baterias	35
3	PROJETO FOTOVOLTAICO.....	37
3.1	Local da instalação	38
3.2	Histórico da energia solar fotovoltaico	40
3.3	Irradiação solar no local	40
3.4	Dimensionamento dos Painéis	41
3.5	Inversor	43
3.6	Strings.....	44
3.7	Proteção contra sobrecorrente.....	45
3.8	Cabeamento.....	45
3.9	Baterias	46
4	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXOS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, testemunhamos um aumento significativo na demanda por energia em todo o mundo, impulsionado pelo crescimento da população, urbanização e uma dependência crescente de dispositivos eletrônicos. Ao mesmo tempo, a transição para fontes de energia renovável, como a solar e eólica, tem se intensificado devido à necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar as mudanças climáticas.

No entanto, as energias renováveis são intermitentes por natureza, o que significa que a geração de energia nem sempre coincide com o consumo. Isso cria um desequilíbrio entre oferta e demanda de energia, resultando em picos e vales de produção que não correspondem necessariamente aos picos e vales de consumo.

O armazenamento de energia excedente em baterias é uma solução alternativa para resolver esse desequilíbrio. Ela permite a captura e o armazenamento da energia gerada durante os períodos de alta produção (por exemplo, durante o dia, quando há alta intensidade da irradiação do sol ou quando tem alta intensidade de vento) para uso posterior quando a demanda é maior ou quando as fontes de energia renovável não estão disponíveis (por exemplo, à noite ou em dias sem vento). Isso reduz a dependência de fontes de energia não renováveis, como os combustíveis fósseis, durante os períodos de alta demanda, reduzindo assim as emissões de gases de efeito estufa e promovendo a sustentabilidade ambiental. Assim como ocorrido no ano de 2021, quando a incidência de chuvas foi abaixo da média esperada, causando uma grande crise hídrica. Com a geração de energia elétrica prejudicada foi necessário recorrer a outra fonte de geração de energia, as termelétricas, que são fontes de energia não renováveis. Com a utilização dessas fontes de geração, acabou causando um grande problema ambiental, onde aumentou em 75% a emissão de gases de efeito estufa (GEE) em relação ao ano de 2020 (IEMA, 2022).

Ressalta-se que os sistemas de armazenamento de energia através de baterias podem ser utilizados para diversas funções, como o suporte de tensão mantendo os níveis de tensão em uma faixa adequada, utilizada como *backup* quando ocorrer eventos onde haja desconexão da rede elétrica com o consumidor, não somente em lugares afastado, mas também em locais onde a falta da energia pode trazer grandes prejuízos ou até custar vida (como hospitais).

1.1 Justificativa

Com o aumento da demanda da energia elétrica e devido a problemas hídricos ocorridos nos últimos anos, a busca por tecnologias mais eficientes e a implementação de novas formas de geração e armazenamento de energia, visando diminuir a utilização de fontes não renováveis, vem sendo imprescindível. Nos dias atuais, o preço da energia elétrica é diferente em alguns períodos do dia, devido à grande demanda de energia, desta maneira, uma das soluções é o uso de baterias para armazenar a energia em períodos que a demanda é baixa ou para melhor aproveitar o uso dos recursos energéticos, como por exemplo quando reservatórios estão cheios, ou quando a geração fotovoltaica e eólica são maiores que a demanda exigida, assim podendo armazenar energia para ser utilizada em outro momento.

Além desses benefícios, a implementação de baterias pode trazer uma maior eficiência ao sistema, não precisando construir novas linhas de transmissão e distribuição para satisfazer momentos de pico de demanda, servindo como *back-up* e melhorando a qualidade da energia elétrica, absorvendo flutuações de tensão e frequência (ENERGIAS RORAIMA, 2021).

1.2 Definição do Problema

O problema central abordado por este trabalho é a necessidade de encontrar maneiras eficientes e econômicas de armazenar a energia excedente gerada a partir de fontes de energia renovável, como solar e eólica, para uso posterior. O desafio reside na criação de sistemas de armazenamento de energia que sejam altamente eficientes na conversão e recuperação de energia, sustentáveis em termos ambientais, economicamente viáveis e escaláveis para atender às necessidades de uma sociedade cada vez mais dependente de eletricidade.

Outro problema bem comum é a utilização da energia elétrica em horários de ponta, onde a energia se torna mais cara para os consumidores. Atualmente no Brasil, a solução mais viável economicamente, devido ao clima típico, vem sendo o desenvolvimento da geração de energia eólica e fotovoltaica, mas com o passar dos anos será que só isso será o suficiente? Quais as outras possíveis soluções? Como melhor aproveitar esses recursos naturais?

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral foi analisar as possibilidades para armazenamento de energia excedente por meio de baterias, contribuindo para a integração mais eficaz de fontes de energia renovável na matriz energética global.

1.4 Objetivos Específicos

Para a realização dos objetivos deste trabalho, será feita a divisão nos seguintes objetivos específicos:

- a) analisar as tecnologias de armazenamento de energia disponíveis atualmente, incluindo baterias Chumbo-Ácido, Íons-Lítio, Níquel-Cádmio, Sódio-Enxofre e Fluxo Redox;
- b) comparar as baterias estudadas em termos de densidades energética, ciclos de vida, custo, manutenção e aplicações comuns;
- c) exibir os cálculos utilizados para dimensionar o sistema fotovoltaico e o sistema de armazenamento;

1.5 Metodologia

Este trabalho tem como modalidade pesquisa bibliográfica. Foram realizados levantamentos de informações mediante referências teóricas como artigos científicos, dissertações, teses, relatórios periódicos de instituições e órgãos públicos, websites, livros a fim de obter conhecimento sobre o assunto escolhido de modo a dar início a uma abordagem introdutória acerca de utilização de baterias como armazenamento de energia excedente. A pesquisa realizada é caracterizada como um estudo exploratório, o qual se utiliza de um processo de pesquisa flexível, possibilitando levar em consideração uma série de aspectos relativos ao tema escolhido, uma vez que busca proporcionar maior familiaridade com o problema, buscando apresentar a importância das baterias para o futuro. Por se tratar de um assunto que tem assumido grande visibilidade e vem sendo bastante estudado, há a possibilidade de fazer uma ampla coleta de informações para a realização de uma

abordagem descritiva a fim de fazer uma análise crítica a respeito da utilização das baterias como alternativa para armazenamento de energia.

1.6 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco partes. Na primeira parte é contextualizado a introdução, justificativa, definição do problema, os objetivos e metodologia.

Na segunda, é realizado um aprofundamento no estudo mais detalhado das baterias de Chumbo-Ácido, Íons-Lítio, Níquel-Cádmio, Sódio-Enxofre e Fluxo Redox mostrando a história de cada uma delas, seu modo de funcionamento e como é feita a reciclagem após chegar ao fim de sua vida útil.

Na terceira, está presente o dimensionamento do sistema fotovoltaico e do sistema de armazenamento através de baterias que serão utilizados para implementação do projeto.

No quarto capítulo descreve-se sucintamente as conclusões aos resultados obtidos e apresentam-se algumas recomendações para trabalhos futuros.

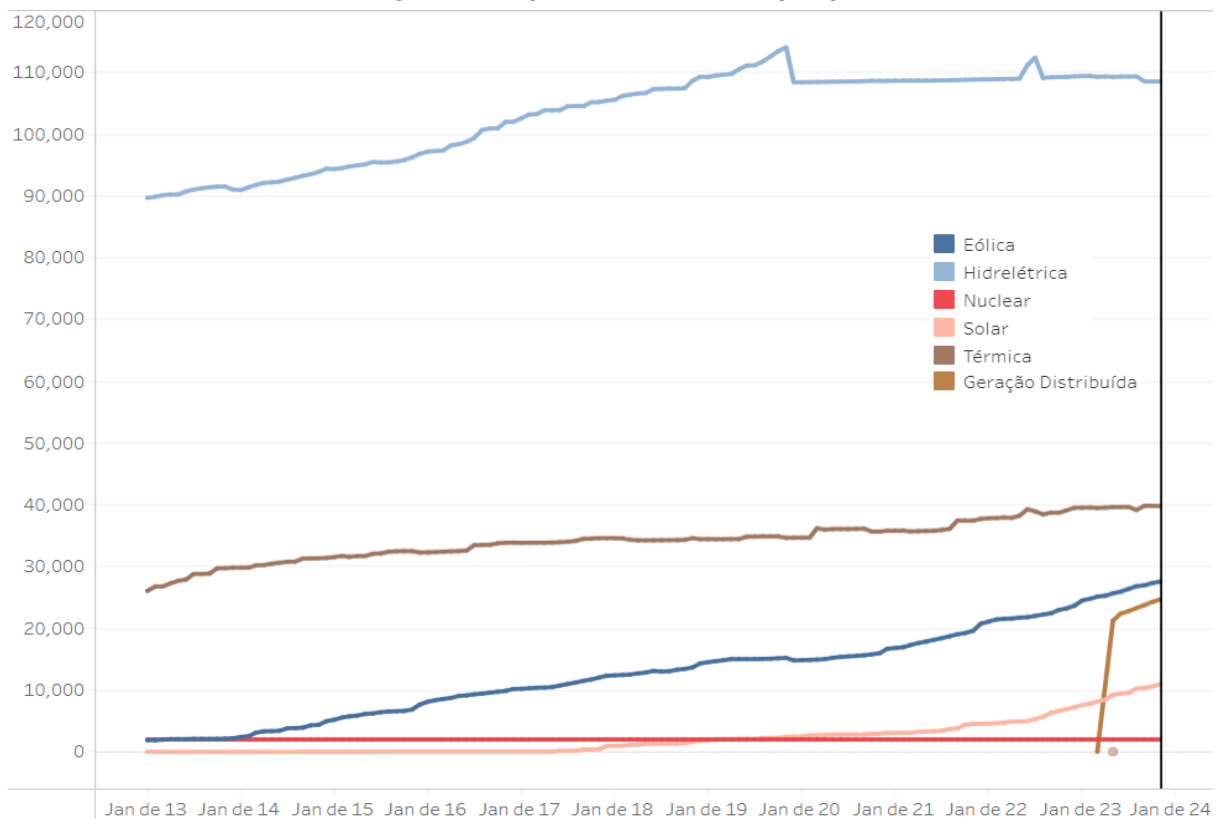
Por fim estão descritos as referências bibliográficas e os anexos utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

2 BATERIAS PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Desde o século passado, a utilização da energia elétrica vem crescendo exponencialmente, e segundo a empresa de pesquisa energética (EPE, 2018) este cenário se manterá pelos próximos anos, com previsão de que em 2050 o consumo atual será dobrado.

Atualmente, o Brasil tem como principal fonte de geração as hidrelétricas, mas como mostrado na Figura 1, nos últimos anos a implementação dessa fonte de geração tem se mantido praticamente constante, já as fontes de geração eólica, fotovoltaica e geração distribuída estão sofrendo um grande crescimento. Uma atenção para esta última, que engloba a vários tipos de geração, mas que as difere por serem instalados próximas aos centros de consumo, e podem ser fontes renováveis ou combustíveis fósseis. Para diversificar a matriz energética e junto ao acordo de Paris, que tem como objetivo a redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE), espera-se que a implementação de formas de geração renováveis sejam as principais no futuro (ECO RESPONSE, 2021).

Figura 1 - Capacidade Instalada (MW).



Fonte: ONS (2024).

O armazenamento de energia desempenha um papel fundamental na maximização do aproveitamento das fontes renováveis, como a energia solar e eólica, que são altamente dependentes das condições meteorológicas e da variação sazonal. Como afirmado pela ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, no Atlas da Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2015), é necessário garantir a estabilidade na geração e consumo de energia, o que é particularmente desafiador com essas fontes intermitentes.

Atualmente, o armazenamento de energia no Brasil é efetuado utilizando reservatórios de acumulação de água, mas com o aumento da demanda e a estabilização do crescimento de hidrelétricas, será necessária a busca por novos métodos para armazenar a energia proveniente de eólicas e fotovoltaica.

De acordo com Colle e Pereira (2016), no "Atlas de Irradiação Solar do Brasil", é crucial armazenar o excesso de energia solar durante os períodos de alta irradiação, e, da mesma forma, a pesquisa de Foley *et al.* (2015) destaca a importância de prever a geração de energia eólica para otimizar o seu armazenamento e uso.

O armazenamento de energia também desempenha um papel essencial na sustentabilidade ambiental, reduzindo a necessidade de fontes de energia mais poluentes e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa, como sugerido por Geller (2014) em "O uso eficiente da eletricidade".

Além disso, a viabilidade econômica do armazenamento de energia é um fator crítico, como discutido por Silva em "Viabilidade Econômica da Energia Solar" (SILVA, 2018). Investir em sistemas de armazenamento de energia pode aumentar a resiliência do sistema elétrico, reduzir custos de pico e proporcionar benefícios financeiros significativos a longo prazo.

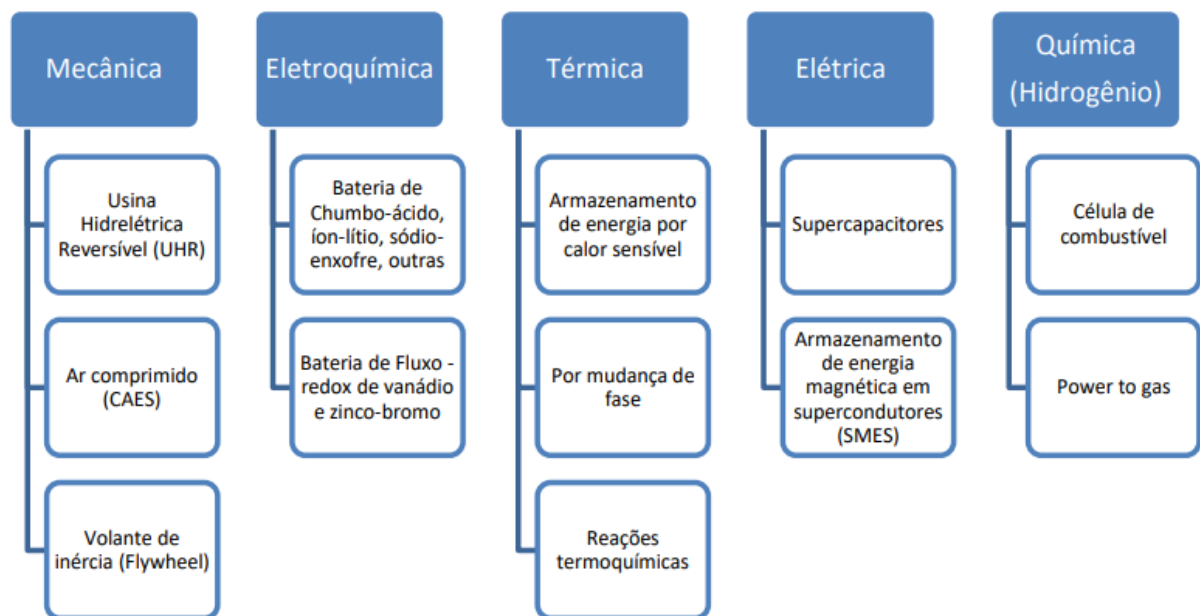
A integração bem-sucedida de fontes renováveis e sistemas de armazenamento requer estratégias de gerenciamento de energia, conforme indicado por Lamberts, Dutra e Pereira (2017), a fim de otimizar a distribuição de energia ao longo do tempo e das demandas sazonais.

Além disso, é importante notar que o armazenamento de energia é uma parte essencial do futuro energético, como apontado por Silva (2017) em "Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios". O desenvolvimento de tecnologias de

armazenamento mais avançadas e acessíveis é essencial para promover a transição para um sistema de energia mais limpa e sustentável.

Como atualmente o método de armazenamento de energia pode ser efetuado de várias maneiras como mostrado na Figura 2, este trabalho foi limitado para o tipo de armazenamento Eletroquímica, que segundo a EPE (2019) “o armazenamento por meio de baterias apresenta grande potencial e destaca-se como uma das principais tecnologias a ser utilizada nas matrizes elétricas futuras”, portanto será tratado sobre os múltiplos tipos de baterias.

Figura 2 - Tecnologias para armazenamento de energia



Fonte: EPE (2019).

Nesta seção serão abordadas as principais tecnologias de baterias para sistemas de potência que se desenvolveram nos últimos anos, com maior participação no mercado, ou que ainda tenham previsões de crescimento para os próximos anos. As principais características que essas baterias possuem são tempo de vida útil alto, densidade de energia elevada e baixo custo. Tais como as baterias de Chumbo-Ácido, Íon-Lítio, Sódio-Enxofre, Níquel-Cádmio e bateria de Fluxo redox, que serão apresentadas detalhadamente no próximo item.

A utilização de baterias, como todo método de armazenamento tem sua vantagem e desvantagem, onde o descarte após chegar ao fim de sua vida útil pode ser um grande problema se não for feito da maneira correta. Portanto, em seguida

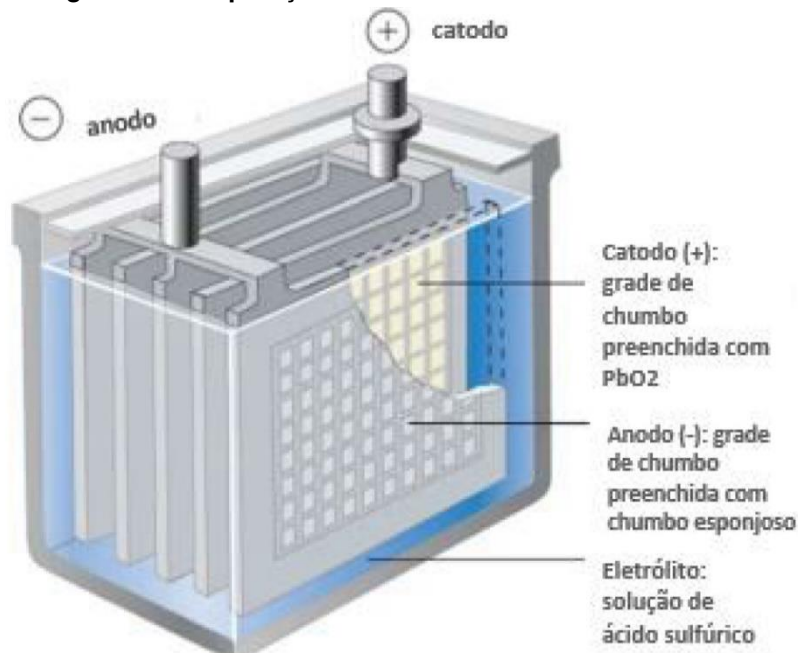
será exemplificado os métodos que estão sendo utilizados para descartar ou reaproveitar o material utilizado nas mesmas.

2.1 Baterias de Chumbo Ácido

As baterias de chumbo ácido são as mais antigas, constituída em 1859 por Gaston Planté e são as mais conhecidas, pois estão presentes no dia a dia de muitas pessoas, sendo utilizadas em carros, portanto são uma das baterias mais produzidas atualmente. Essas baterias têm um tempo de vida útil curto, e seu maior problema é o descarte da mesma, pois ela é composta de chumbo, um metal tóxico que traz riscos ao meio ambiente. Para evitar esse descarte, atualmente há pontos de coleta dessas baterias quando se tornam inutilizáveis.

Assim como mostrado na Figura 3, essa bateria é composta por uma placa de metal feita de chumbo (Pb) para ser utilizada como anodo, uma placa de metal feita de dióxido de chumbo (PbO_2) para ser utilizada como catodo e uma solução composta de água (H_2O) com ácido sulfúrico (H_2SO_4) para compor o eletrólito (SCHIPITOSKI, 2022).

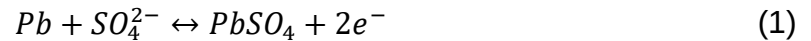
Figura 3 - Composição de uma bateria de chumbo-ácido



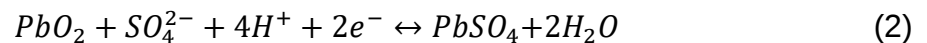
Fonte: Schipitoski (2022).

Essas baterias são utilizadas para receber, armazenar e liberar energia elétrica através de reações químicas que ocorrem através do chumbo e do ácido sulfúrico. As equações que melhor descreve esse funcionamento são:

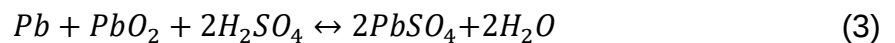
- Anodo:



- Catodo:



- Reação Completa:



Nas equações acima, quando a seta está para a direita indica processo de descarga da bateria, enquanto a seta para a esquerda indica processo de carga da bateria.

As baterias de chumbo ácido são classificadas e podem ser utilizadas em diversas aplicações, e estão divididas da seguinte forma (CARNEIRO *et al.*, 2017):

- Baterias de arranque: Utilizadas em partidas de motores de combustão interna;
- Baterias tracionárias: Utilizadas em empilhadeiras e veículos de construção;
- Baterias estacionárias: Utilizadas em nobreaks, retificadores CC e fontes alternativas de energia;
- Baterias VRLA: Tecnologia mais atual e existem dois tipos principais de baterias.
 - Baterias de Ácido de Chumbo Absorvido (AGM): Possuem fibras de vidro que absorvem o eletrólito, mantendo-o em contato próximo com as placas da bateria. Por serem seladas, não necessitam de manutenção regular. São mais resistentes a vibrações e impactos, e são utilizadas em aplicações de energia de backup, sistemas de alarme e mobilidade elétrica;
 - Baterias de Gel: O eletrólito é misturado com um gel, o que cria uma matriz gelatinosa entre as placas. São mais tolerantes a ciclos profundos e podem ser usadas em aplicações de veículos de golfe, equipamentos médicos e sistemas de energia solar.

Embora tenha vários tipos de baterias de chumbo ácido, o preço entre elas pode variar significativamente com base em vários fatores, incluindo a capacidade da bateria, a marca, a qualidade, o tipo de aplicação, como por exemplo, as baterias de VRLA, em especial a bateria AGM, que possui características melhores entre as outras, como vida útil mais elevada.

Segundo a Victron Energy (2024) se considerar uma profundidade de descarga de 80%, a vida útil de uma bateria AGM pode ser de 400 ciclos, mas se considerar uma profundidade de descarga de 30% ela pode chegar a 1500 ciclos.

Além do preço inicial da bateria, é importante considerar também o custo total ao longo do tempo, incluindo custos de manutenção, ciclo de vida útil da bateria e eficiência operacional. Em muitos casos, baterias de chumbo-ácido podem ter um custo inicial mais baixo, mas podem exigir substituição mais frequente e têm uma vida útil mais curta em comparação com outras tecnologias de baterias (VASCONCELOS, 2022).

2.1.1 Vida útil das baterias de Chumbo Ácido

Como todo equipamento tem um tempo de vida, as baterias não são diferentes, e segundo Paixão (2020) as baterias de chumbo ácido tem uma vida útil entre 3 e 5 anos que dá aproximadamente 50 a 500 ciclos, onde cada ciclo é contabilizado entre descarga e recarga de uma bateria. Em especial, a bateria do tipo AGM, tem uma vida útil mais elevada em comparação as outras de chumbo ácido, variando de 200 a 1000 ciclos (ou mais, dependendo da qualidade da bateria). Mas segundo Baterias Tudor (2023), a vida útil das baterias tende a diminuir com a má utilização das mesmas. Dentro das várias causas que trazem a degradação das baterias, as mais críticas estão listadas da seguinte forma:

- Temperatura: A temperatura de operação elevada provoca sulfatação (ácido sulfúrico cristalizado que fica retido nas placas de condução de chumbo), secagem, autodescarga e diminui a eficiência.
- Corrente: A corrente baixa aumenta a sulfatação e corrente alta danificam as placas de chumbo, causando derramamento do material da placa.

- Profundidade de descarga: é quando uma bateria sofre descarga total ou acima do limite (onde o ideal é que a bateria se descarregue no máximo 20% do valor nominal). A recarga completa aumenta a sulfatação, a secagem e a tensão da célula que acabam fortalecendo a secagem e a corrosão anódica.
- Eletrólito contaminado: este problema é bem comum pela adição de eletrólitos inadequados quando os níveis da bateria estão baixos, aumentando a corrosão das placas e separadores, diminuindo sua vida útil.

Visto isso, algumas práticas recomendadas incluem manter a temperatura de operação dentro do intervalo recomendado pelo fabricante, evitar descargas profundas excessivas e carregar a bateria frequentemente para evitar a sulfatação. Além disso, é importante ter um sistema de monitoramento e controle que permita ajustar as correntes de carga e descarga para atingir uma vida útil máxima da bateria. Para garantir um desempenho consistente, recomenda-se realizar manutenções periódicas, como a limpeza das conexões e a substituição de células com falhas. Adotar boas práticas de uso e manutenção pode prolongar significativamente a vida útil das baterias de chumbo-ácido (BATERIAS TUDOR, 2023).

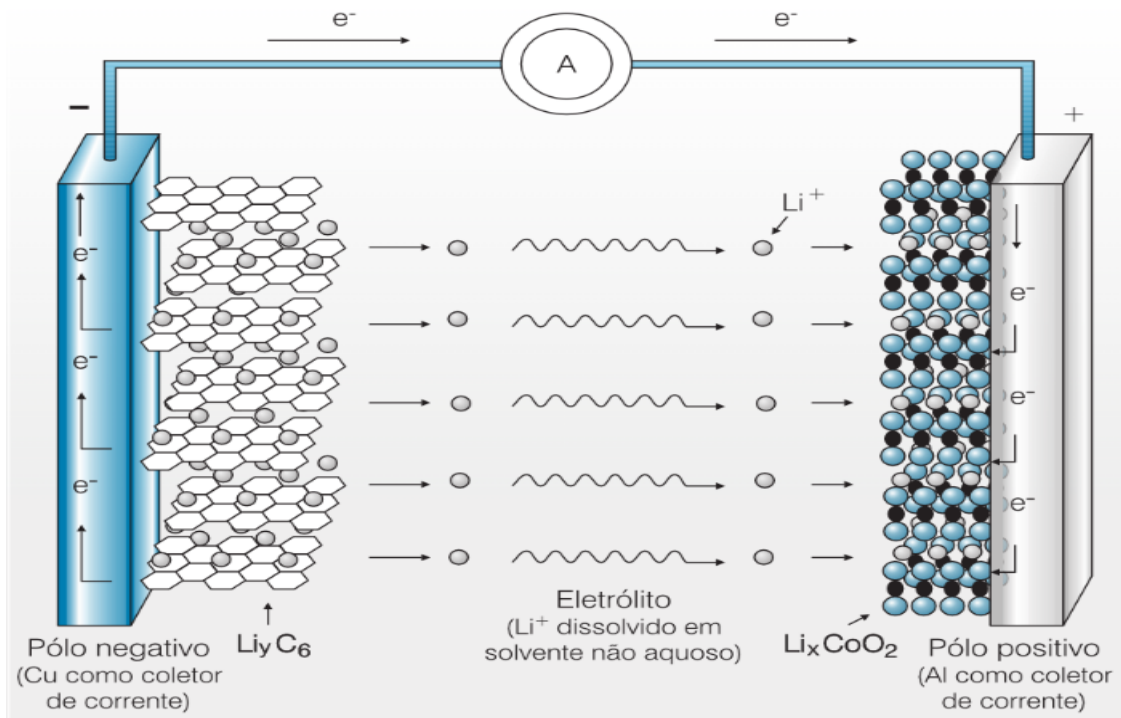
2.2 Baterias de Íon-Lítio

Essas baterias foram desenvolvidas em 1970 por John Goodenough. As baterias de íon-lítio são amplamente utilizadas em eletrônicos como smartphones, laptops, câmeras digitais e veículos elétricos. Devido ao seu tamanho compacto e alta eficiência energética, elas se tornaram populares em todo o mundo. Essas baterias não eram viáveis para uso comercial naquela época, pois eram muito caras e só duravam algumas recargas. Mas em 1991 a empresa Sony produziu a primeira bateria de íon-lítio comercialmente viável, que foi utilizada em um aparelho de vídeo (EFTEKHARI, 2017). Esta bateria possui uma alta densidade de energia e causa menos danos ao meio ambiente em relação às outras baterias. As desvantagens dessas baterias é sua temperatura de operação (se expostas a altas temperaturas, podem causar danos físicos) e seu eletrólito inflamável (XIN *et al.*, 2022).

Assim como mostrado na Figura 4, essa bateria é composta por uma placa de metal feita de cobre (Cu) para ser utilizada como anodo, uma placa de metal feita de Alumínio (Al) para ser utilizada como catodo e uma solução composta por íons de

lítio para compor o eletrólito na forma de sais. O anodo é geralmente feito de grafite, enquanto o catodo é composto de diversos materiais como óxido de cobalto, fosfato de ferro ou manganês. Para carregar a bateria, deve ser aplicada uma carga inicial fazendo com que os íons de lítio migrem do catodo para o anodo (SCHIPITOSKI, 2022).

Figura 4 - Processo eletroquímico de uma bateria de íon-lítio.



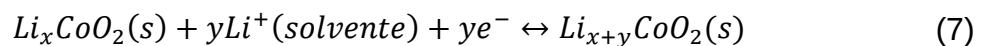
Fonte: Bocchi, Ferracin e Biaggio (2000).

Essas baterias são utilizadas para receber, armazenar e liberar energia elétrica através de reações químicas que ocorrem através de íons de lítio dissolvidos em solventes não aquosos. As equações que melhor descreve esse funcionamento são:

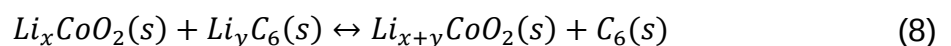
- Anodo:



- Catodo:



- Reação Completa:



As baterias de íon-lítio utilizam íons de lítio para transportar cargas elétricas de um eletrodo para outro. Quando a bateria está sendo carregada, os íons de lítio viajam do eletrodo negativo (ânodo) para o eletrodo positivo (cátodo), onde são armazenados. Quando a bateria é usada, os íons de lítio se difundem de volta para o ânodo, produzindo uma corrente elétrica que pode ser usada para alimentar dispositivos eletrônicos (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

2.2.1 Vida útil das baterias de Íon Lítio

A vida útil de uma bateria de íon-lítio depende de vários fatores, incluindo a qualidade do material, o número de ciclos de recarga que ela pode suportar e como ela é armazenada. Em geral, as baterias de íon-lítio têm uma vida útil de cerca de dois a três anos, ou aproximadamente 300-500 ciclos de carga/descarga que podem ser influenciados se os devidos cuidados forem tomados, chegando até cinco anos de vida útil. A seguir estão listados alguns fatores que influenciam na vida útil das baterias de íon-lítio (BATTERY UNIVERSITY, 2021a):

- Ciclos de carga: Cada vez que a bateria é carregada e descarregada é contado como um ciclo. As baterias de íons de lítio têm um número limitado de ciclos antes de começarem a perder capacidade rapidamente. Uma bateria típica pode suportar cerca de 300 a 500 ciclos completos antes de sua capacidade cair significativamente;
- Temperatura: As baterias de íon-lítio funcionam melhor em temperaturas moderadas entre 20-30 graus Celsius. Exposição prolongada a altas temperaturas ou frio extremo reduzirá a vida útil da bateria;
- Manuseio adequado: Baterias de íon-lítio não devem ser armazenadas completamente descarregadas, pois isso pode causar danos permanentes à célula da bateria. Além disso, as baterias devem ser manuseadas com cuidado para evitar impactos fortes ou quedas;
- Taxa de carga rápida: Carregar uma bateria muito rapidamente pode aumentar a temperatura interna da bateria, o que pode causar danos permanentes às suas células;

- **Qualidade da bateria:** Nem todas as baterias são criadas iguais. Algumas baterias podem ter componentes de baixa qualidade ou serem fabricadas com processos inferiores, resultando em uma vida útil reduzida da bateria.

Além desses fatores, a idade também contribui para a diminuição da vida útil das baterias de íon-lítio. Com o tempo, as células da bateria começam a se deteriorar naturalmente e a capacidade da bateria começa a diminuir gradualmente. Portanto, para maximizar a vida útil da bateria de íon-lítio, deve-se tomar cuidado com a maneira como é manuseada, evitar exposição à temperatura extrema, evitar cargas rápidas excessivas e usar carregadores de qualidade.

2.3 Baterias de Sódio-Enxofre

A história das baterias de sódio-enxofre remonta aos anos 1960, foi inicialmente desenvolvida pela *Ford Motor Company* e em seguida pela NASA (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço), que pesquisava maneiras de armazenar energia elétrica em suas missões espaciais. Naquela época, as baterias usavam metais como lítio e cádmio para armazenar energia. No entanto, o interesse pelas baterias de sódio-enxofre voltou quando houve um aumento na demanda por fontes de energia renováveis, como solar e eólica. Nesse momento, várias empresas começaram a pesquisar sobre essas baterias como uma possível solução para armazenamento de energia (NIKIFORIDIS; SANDEN; TSAMPAS, 2019).

As baterias de sódio-enxofre funcionam convertendo a energia química em energia elétrica. Elas têm duas câmaras, uma com sódio líquido e uma com enxofre líquido, que estão separadas por uma placa de cerâmica sólida de beta-alumina de sódio (SBB). Quando a bateria é carregada, os íons de sódio são atraídos para o ânodo da bateria, enquanto os íons de enxofre se movem para o cátodo através da placa cerâmica. Quando a bateria é descarregada, ocorre o processo inverso, os íons de sódio migram do ânodo para o cátodo, produzindo corrente elétrica. Enquanto isso, os íons de enxofre migram do cátodo de volta para o ânodo, liberando energia (WANG *et al.*, 2017).

Essas baterias têm uma alta densidade energética, ou seja, podem armazenar muita energia em um pequeno espaço. Além disso, o sódio e o enxofre são materiais abundantes e baratos, tornando as baterias de sódio-enxofre uma

alternativa promissora às tradicionais baterias de íon-lítio. No entanto, as baterias de sódio-enxofre ainda enfrentam desafios técnicos importantes, como a necessidade de operação a altas temperaturas. Apesar disso, elas têm potencial para serem usadas em aplicações de grande escala, como armazenamento de energia renovável para redes elétricas e veículos elétricos (NIKIFORIDIS; SANDEN; TSAMPAS, 2019).

Desde o ano de 2003, a principal fabricante de baterias de sódio-enxofre é a empresa *NGK Insulators Ltda.*, localizada no Japão. Elas estão disponíveis comercialmente no Japão e nos Estados Unidos com uma capacidade de descarga de aproximadamente 530 MW, onde são utilizadas na parte de nivelamento de carga, corte de pico, arbitragem de energia, energia auxiliar e armazenamento de energia na rede elétrica (WANG *et al.*, 2017).

Figura 5 - Processo eletroquímico de uma bateria de Sódio-Enxofre.



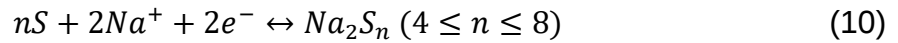
Fonte: Romero (2016).

Essas baterias são utilizadas para receber, armazenar e liberar energia elétrica através de reações químicas que ocorrem através do sódio líquido (fundido), enxofre líquido (fundido) e um eletrólito cerâmico de beta alumina sólida (CHEN *et al.*, 2009). As equações que melhor descreve esse funcionamento são:

- Anodo:



- Catodo:



- Reação Completa:



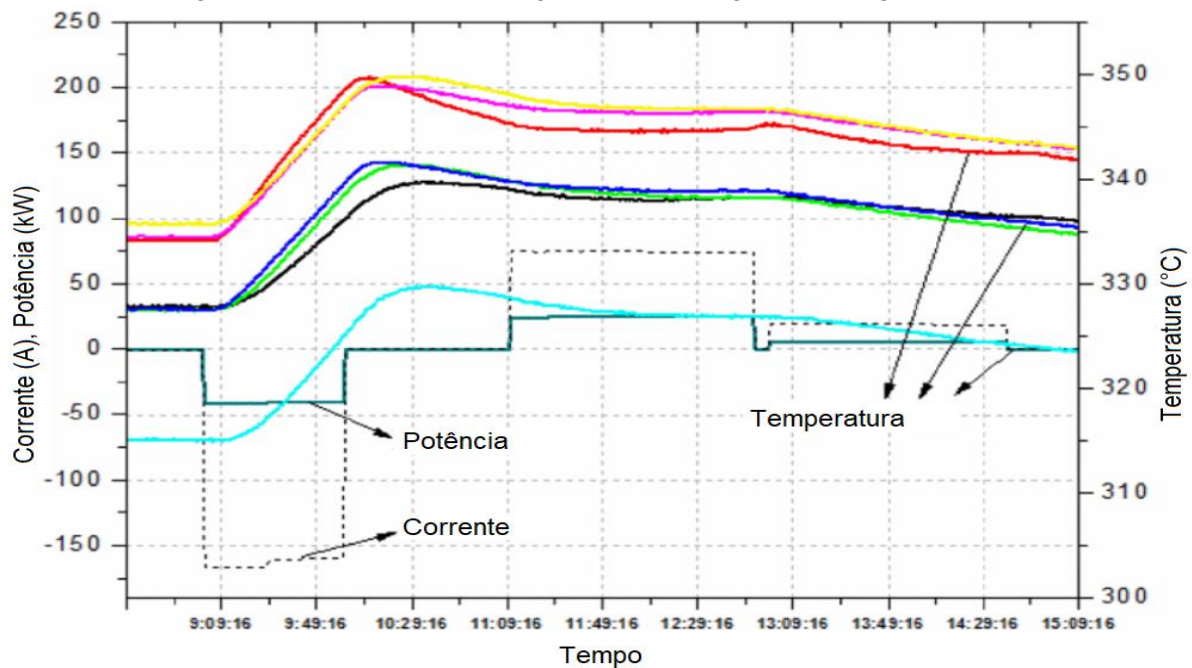
Nas equações acima, quando a seta está para a direita indica processo de descarga da bateria, enquanto a seta para a esquerda indica processo de carga da bateria.

2.3.1 Vida útil das baterias de Sódio-Enxofre

A vida útil das baterias de NaS depende de vários fatores, incluindo o ciclo de carga/descarga, temperatura de operação, estado de carga inicial da bateria e design da célula. Uma característica importante dessas baterias é que elas requerem temperaturas elevadas de operação, normalmente entre 300°C e 350°C, para atingir uma performance ideal, pois abaixo de 280°C o polissulfeto fundido entra em estado sólido e a condutividade iônica do eletrólito sólido é comprometida. Portanto, é necessária uma fonte de calor que use a própria energia armazenada da bateria para manter nessa faixa de temperatura, o que faz com que a bateria sofra uma redução parcial do desempenho (NIKIFORIDIS; SANDEN; TSAMPAS, 2019).

Outro fator crítico é o ciclismo diário da bateria, uma vez que cada ciclo de carga/descarga causa pequenos danos devido a mudanças de temperatura, diminuindo o desempenho da mesma. Na Figura 6 pode ser observado a variação da potência e da corrente com a mudança da temperatura durante uma carga/descarga:

Figura 6 - Tendências de temperatura de carga e descarga da bateria.



Fonte: Chen (2017).

Em geral, a vida útil estimada das baterias de NaS é de cerca de 15 anos ou de 2.500-4.500 ciclos de carga/descarga. No entanto, algumas pesquisas recentes indicam que dependendo da profundidade média de descarga da bateria, ela pode durar até 25 anos com o uso adequado e manutenção regular para minimizar danos aos componentes da célula (BITO, 2005).

De qualquer forma, a tecnologia das baterias de sódio-enxofre ainda está em fase de aprimoramento, mas continua sendo uma opção promissora para solucionar problemas de armazenamento de energia renovável em grande escala, devido sua segurança, por sua alta densidade energética que é de 3 à 5 vezes maior que as baterias de chumbo-ácido e baixo custo dos materiais (BITO, 2005).

2.4 Baterias de Níquel-Cádmio

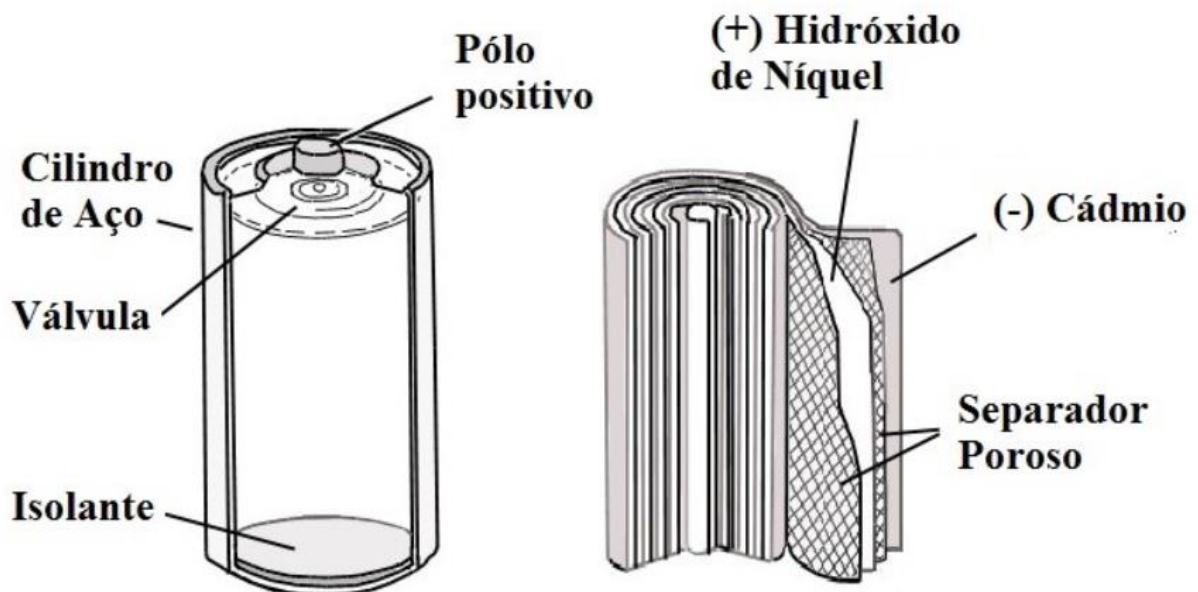
A primeira bateria de níquel-cádmio (NiCd) foi construída em 1899, por Waldmar Jungner, na Suécia, no entanto não era muito eficiente e tinha um custo muito elevado. Mas nos anos 1932 a 1947 houve grandes avanços na tecnologia das baterias recarregáveis. As baterias de NiCd se tornaram populares na indústria aeroespacial e começaram a ser usadas em equipamentos eletrônicos portáteis, como telefones sem fio, câmeras fotográficas e tocadores de música portáteis. Nos anos 80,

as baterias de NiCd sofreram uma evolução de 60% na capacidade de armazenamento, mas com isso trouxe algumas consequências, como resistência interna mais elevada e diminuição nos ciclos de vida (BATTERY UNIVERSITY, 2023b).

No entanto, as baterias de níquel-cádmio tinham alguns problemas. O cádmio é altamente tóxico e pode causar danos ao meio ambiente quando não é descartado corretamente. Hoje em dia, as baterias de níquel-cádmio são menos comuns do que eram no passado. Muitas empresas optaram por usar baterias de íons de lítio ou Níquel Metal Hidreto. Apesar dos benefícios já mencionados, o cenário aponta para um uso cada vez mais restrito desse tipo de bateria, principalmente por conta das questões ambientais que envolvem o cádmio. Mesmo sendo considerado um importante avanço na era moderna das baterias, é necessário encontrar alternativas mais sustentáveis e seguras à medida que a conscientização ambiental se intensifica (VAZQUEZ *et al.*, 2010).

Assim como mostrado na Figura 7, essa bateria é composta por uma placa de cádmio para ser utilizada como anodo (negativo), uma placa de hidróxido níquel para ser utilizada como cátodo (positivo) e entre as camadas a um separador com a função de separar os reagentes para que não entrem em contato diretamente (AKINYELE; RAYUDU, 2014).

Figura 7 - Processo eletroquímico de uma bateria de Níquel Cádmio.

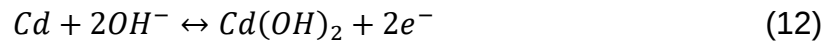


Fonte: STA (2023).

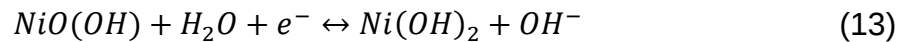
Essas baterias são utilizadas para receber, armazenar e liberar energia elétrica através de reações químicas que ocorrem através do Hidróxido de Níquel,

Hidróxido de Cádmio e com eletrólito de potássio. As equações que melhor descreve esse funcionamento são:

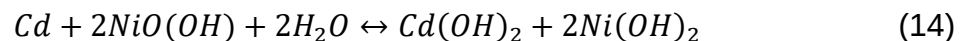
- Anodo:



- Catodo:



- Reação Completa:



Nas equações acima, quando a seta está para a direita indica processo de descarga da bateria, enquanto a seta para a esquerda indica processo de carga da bateria.

2.4.1 Vida útil das baterias de Níquel-Cádmio

Essas baterias têm um tempo de vida útil bastante longo, e seu principal problema é sua reciclagem após ser descartada, pois ela é feita por vários metais pesados, sendo considerada a bateria que causa mais danos ao meio ambiente. Devido a esse problema, assim como as baterias de chumbo-ácido, essas baterias devem ser devolvidas aos seus fabricantes após o término de sua vida útil (BARANDAS; VALVERDE; AFONSO, 2007).

A duração média da vida útil das baterias NiCd é cerca de 3 a 5 anos, mas pode variar amplamente dependendo do número de ciclos de carga e descarga que a bateria passa durante esse período. Geralmente, estima-se que essas baterias possam durar 3.000 ciclos de carga e descarga a 100% de profundidade de descarga (DIVYA; OSTERGAARD, 2009).

Além disso, as baterias NiCd têm uma tendência ao chamado “efeito memória”, esse termo é utilizado devido à queda abrupta de tensão com a bateria ainda carregada. Esse efeito pode ocorrer de duas formas: ter o mesmo tempo de carga/descarga, fazendo com que ela “lembre” o mesmo ponto em que foi descarregada, e com isso ela tem uma queda de tensão. Outra forma é deixar as

baterias carregando após o tempo de conclusão da carga, ou utilização quando a bateria está em carregamento. Para prolongar a vida útil da bateria, é importante assumir esta limitação seguindo estes procedimentos: utilizá-las completamente antes de recarregar e evitar sobrecargas, desligando a carga eletrônica quando tiverem completados a carga completa (SIQUEIRA, 2019).

Por fim, consulte sempre as instruções do fabricante antes de adquiri-las. Fazer a manutenção adequada das baterias e seguir os procedimentos necessários para maximizar sua vida útil deve ser sempre uma prioridade ao se trabalhar com esse tipo de tecnologia. Ao selecionar um local para armazenar a bateria, recomenda-se escolher um ambiente fresco e seco.

2.5 Baterias de Fluxo

A história das baterias de fluxo começou na década de 1970, e foi iniciada por Thaller, desde então essa tecnologia foi posteriormente usada por outros pesquisadores para desenvolver as baterias de fluxo. Mas a primeira bateria de fluxo foi desenvolvida na Universidade de New South Wales (UNSW) por Maria Skyllas Kazacos e seus assistentes. Essa bateria era baseada no sistema vanádio-redox, que consistia em dois tanques separados contendo soluções de cloreto de vanádio, cada um conectado a uma célula eletrolítica através de uma placa permeável seletiva ao eletrólito (PARASURAMAN *et al.*, 2013).

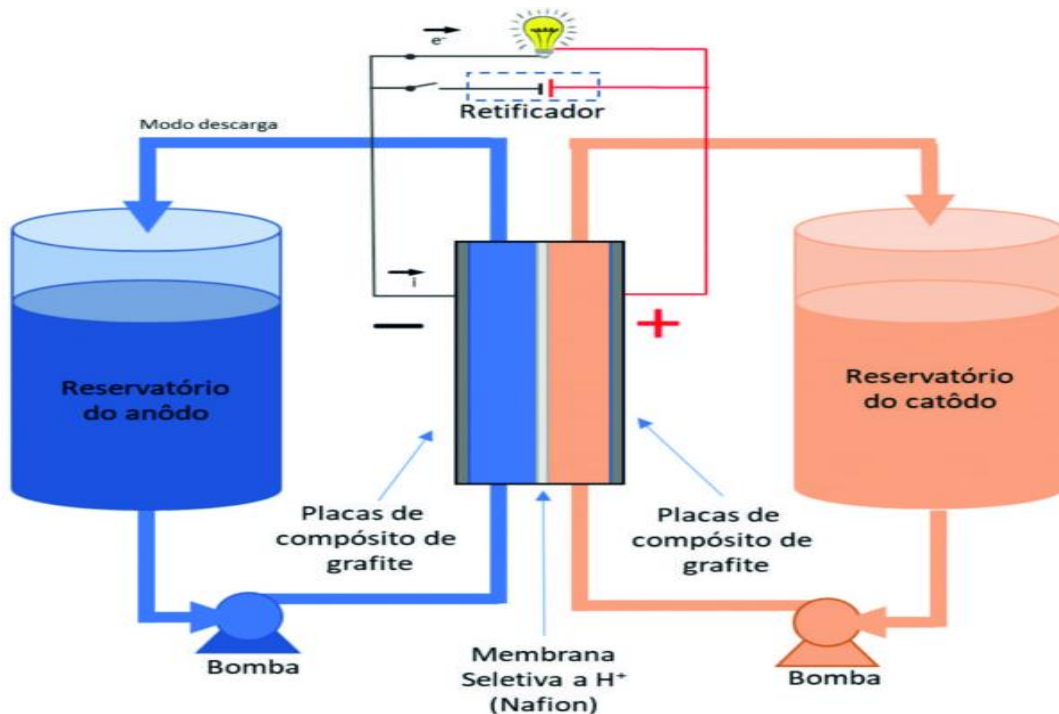
As baterias de fluxo têm sido utilizadas principalmente para aplicações estacionárias, como sistemas de armazenamento de energia em redes elétricas ou em fontes renováveis intermitentes, como a solar e eólica. Elas também apresentam potencial para uso em veículos elétricos, já que sua principal vantagem é a capacidade de serem recarregadas rapidamente trocando-se os eletrólitos. Essas baterias vêm como uma alternativa de substituição para as baterias de íons-lítio, onde tem uma ampla diversificação de sua aplicação, uma vida útil elevada, uma menor degradação e não são inflamáveis. Mas o grande problema ainda é que seu custo, que é o dobro de uma bateria de íons-lítio de mesmo porte (GRID ENERGIA, 2020).

Ao longo dos anos, várias melhorias foram feitas nas baterias de fluxo, especialmente nos componentes e materiais utilizados para aumentar sua eficiência e vida útil. Além disso, outras variantes do sistema vanádio-redox têm sido

pesquisadas, assim como novos sistemas baseados em metais diferentes, incluindo zinco-brometo e brometo-polissulfeto. Em resumo, as baterias de fluxo têm uma história relativamente curta, mas estão se tornando um componente valioso em sistemas de armazenamento de energia renovável devido sua capacidade de não autodescarga (DIVYA; OSTERGAARD, 2009).

Como mostrado na Figura 8, esse tipo de bateria é composto por dois tanques, onde estão separados por uma membrana que permite a troca de eletrólitos sem se misturarem, ou seja, permite que haja um fluxo de íons, induzindo uma corrente elétrica aos condutores. O tamanho dos tanques e a quantidade de eletrólitos determinam a densidade de energia dessas baterias (ASSUNCAO JUNIOR, 2015).

Figura 8 - Processo eletroquímico de uma bateria de Fluxo.



Fonte: Gerhard (2020).

Como exemplo, para uma bateria de fluxo utilizando o vanádio, as reações químicas que ocorrem nos dois tanques são eletrólitos à base de vanádio. As equações que melhor descreve esse funcionamento são:

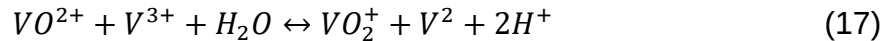
- Ânodo:



- Catodo:



- Reação Completa:



Nas equações acima, quando a seta está para a direita indica processo de descarga da bateria, enquanto a seta para a esquerda indica processo de carga da bateria.

2.5.1 Vida útil das baterias de Fluxo

As baterias de fluxo são conhecidas por terem uma longa vida útil em comparação com outras tecnologias de baterias. A durabilidade é devido ao fato de que as alterações durante os ciclos de carga/descarga não afetam os eletrodos da bateria, pois ocorrem nos materiais ativos que são dissolvidos em soluções líquidas. Com isso o ciclo de vida da bateria não depende da profundidade de descarga, desde que as operações da bateria estejam dentro dos limites permitidos de temperatura e tensão (CHALAMALA *et al.*, 2014).

Em geral, as baterias de fluxo têm uma expectativa de vida útil de 10.000 ciclos com 75% de profundidade de descarga, embora ainda estejam sendo desenvolvidas técnicas para otimizar sua resistência à degradação. O aumento na demanda mundial por soluções energéticas limpas e sustentáveis vem impulsionando as investigações científicas para essas melhorias (DIVYA; OSTERGAARD, 2009).

2.6 Reciclagem das baterias

Com o passar do tempo e a evolução da civilização, a busca por inovações tecnológicas e conforto, está crescendo cada vez mais. Além disso, o excesso de consumo e a produção em massa de produtos acabam gerando um grande acúmulo de resíduos, como plásticos e outros materiais não biodegradáveis, que levam muitos anos para se decompor na natureza. Essas práticas insustentáveis estão afetando diretamente a qualidade de vida das pessoas, contribuindo para o aumento de

doenças respiratórias, alteração do clima, redução da diversidade biológica, entre outras consequências (MAZZER; CAVALCANTI, 2004).

Para minimizar esses impactos, é necessário que haja uma mudança de mentalidade e uma adoção de práticas sustentáveis. As empresas, por exemplo, devem buscar formas de produzir de maneira mais consciente, utilizando matérias-primas renováveis e de baixo impacto ambiental, além de gerenciar seus resíduos de forma adequada.

Com isso, uma maneira de diminuir os impactos é quando é feita constatação do fim da vida útil das baterias, onde deve ser encaminhada para os fornecedores ou centros de reciclagem especializada, onde será feita a reciclagem de todos os materiais que a compõem. Como por exemplo na bateria de chumbo ácido mostrado na Figura 9 a seguir:

Figura 9 - Composição média de uma bateria de chumbo-ácido para automóveis.

Componentes	Massa (%)
Chumbo	61,2
Água	13,3
Ácido sulfúrico puro	9,6
Caixa de polipropileno	8,2
Grelha metálica (Sb, Sn, As)	2,1
Polietileno (separadores)	2,0
Conexões (Cu)	0,3
Outros materiais (plástico, papel, madeira, PVC)	3,3

Fonte: Jolly e Rhin (1994).

Após ser recebida pelos centros de coletas, as baterias são encaminhadas para reciclagem, onde a separação dos materiais é feita através de uma máquina (quebrando a bateria em pedaços), que leva em consideração o peso dos materiais. Após serem separados, o plástico será triturado e encaminhado para fabricação de novas baterias (SEC POWER, 2023).

O próximo passo na reciclagem é a separação dos metais dos materiais ativos, que são feitos através de três principais procedimentos de reciclagem: pirometalurgia, hidrometalurgia e reciclagem direta (CHEN *et al.*, 2019).

- Pirometalurgia: consiste em um processo de fundição realizado em temperaturas elevadas, incluindo queima e subsequente separação dos componentes;

- Hidrometalurgia: utiliza métodos químicos em meio aquoso, por meio de lixiviação com ácidos (ou bases);
- Reciclagem direta: possibilita a coleta e recuperação direta dos materiais ativos, mantendo sua estrutura original. Após passar por um desses processos os metais, como lítio, cobalto, níquel, cobre e derivados do processo de reciclagem podem ser utilizados novamente em novas baterias.

No caso de pirometalurgia, após serem separados vai para o processo de fundição, onde o líquido é moldado em lingotes através de moldes, originando o material secundário, que é o material obtido através da reciclagem, e não diretamente do minério (como por exemplo, o chumbo primário). Após o resfriamento, os lingotes ficaram prontos para utilização em novas baterias. Por fim, a solução ácida sofre um processo de recuperação de eletrólito (SEC POWER, 2023).

Esse procedimento é essencialmente aplicado em baterias de cádmio, pois garantem que o cádmio que evapora não se oxide durante a condensação, resultando em cádmio metálico com pureza superior a 99,9%, o qual possui variadas aplicações que incluem a produção de novas baterias Ni-Cd. Além disso, esse processo também gera um material constituído por ferro, níquel e cobalto, utilizado na fabricação de aço inoxidável (MANTUANO *et al.*, 2011).

Cabe destacar que o descarte incorreto deste tipo de resíduo pode provocar graves danos ambientais e à saúde humana. Por isso, a reciclagem destas baterias torna-se uma das principais soluções para reduzir o impacto ambiental no nosso planeta.

2.7 Comparação entre as baterias

Para finalizar este capítulo, foi elaborado uma tabela resumindo os dados coletados para cada bateria, com o intuito de facilitar a visualização entre cada uma, como pode ser observado na Tabela 1:

Tabela 1 - Comparação entres os tipos de baterias

Características	Chumbo-Ácido		Íon-Lítio	Sódio-Enxofre	Níquel-Cádmio	Fluxo
	Outras	AGM				
Densidade Energética	Baixa	Alta	Alta	Alta	Média	Média
Ciclos de Vida	50-500	400-1500	300-500	2.500-4.500	3.000	10.000 (mas dependem do design)
Custo	Baixo	Moderada/alto	Modera/Alto	Modera/Alto	Alto	Modera/Alto
Manutenção	Frequente	Pouca	Pouca	Frequente	Frequente	Pouca
Aplicações comuns	Carros, Sistemas estacionários	Sistema de armazenamento, backup	Eletrônicos portáteis, Veículos elétricos	Armazenamento de energia renovável	Ferramentas elétricas, Aviação	Armazenamento de energia renovável, Aplicações estacionárias

Fonte: Autoria própria (2024).

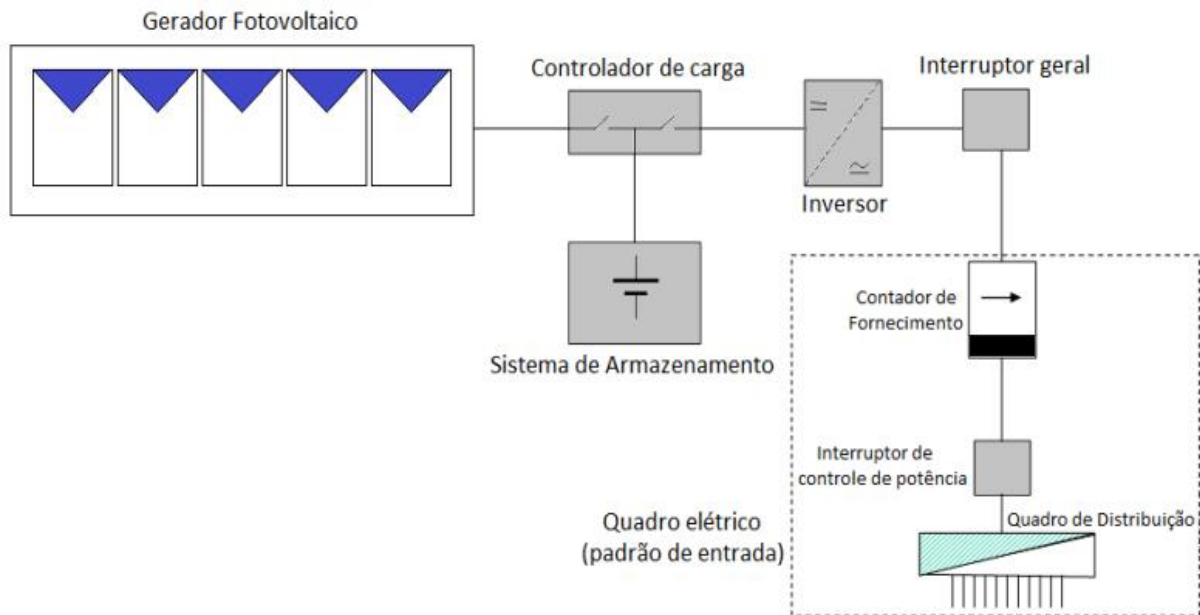
É importante notar que as especificações podem variar entre diferentes fabricantes e modelos. Portanto, deve-se considerar as necessidades específicas do uso pretendido ao escolher entre elas, pois cada uma tem suas próprias vantagens e limitações em termos de densidade energética, ciclos de vida, custo, aplicação e outros fatores.

3 PROJETO FOTOVOLTAICO

Como forma de exemplo, a seguir será feito o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para um aviário na casa do autor deste trabalho, que fica localizado na área rural da cidade de Mafra-SC. Em seguida será dimensionado o sistema de armazenamento através de baterias para esse projeto. Como mostrado na Figura 10, o sistema completo é considerado como um sistema híbrido, ou seja, temos a geração de energia CC pela incidência do sol nas placas fotovoltaicas, podendo ser armazenada em um banco de baterias ou essa energia pode ser transformada em energia CA e utilizada diretamente pela carga ou poderá ser injetada na rede elétrica (SUNGOD ENERGY, 2020).

Os controladores de carga devem obrigatoriamente empregar um sistema fotovoltaico. Eles têm a função de fazer a correta conexão entre painel fotovoltaico e bateria, impedindo que as células sejam expostas a descargas e sobrecargas excessivas, aumentando sua vida útil (NEOSOLAR, 2024). O inversor híbrido escolhido no presente estudo, que será analisado mais à frente, já possui conexão para o banco de baterias e faz a função de controle de carga e descarga dos bancos de baterias.

Outro dispositivo que deve constar na instalação, é a proteção contra sobrecorrente, que segundo a NBR – 16690-2019, deve ser instalado principalmente entre as baterias e o controlador de carga, mas também pode ser instalado para fornecer proteção para o cabo dos arranjos fotovoltaicos.

Figura 10 - Sistema fotovoltaico completo.

Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Para o início do dimensionamento do projeto, foi necessário a coleta de informações, como consumo médio por mês, local de instalação, irradiação do sol e tipo de ligação da unidade consumidora.

3.1 Local da instalação

A direção é a primeira coisa a se considerar para a instalação dos módulos fotovoltaicos, uma vez que essa é a característica que mais afetará o desempenho do sistema fotovoltaico. Para ser mais eficiente na coleta de irradiação, o painel deverá ter sua face voltada para a direção em que sol brilha pelo maior período de tempo. No caso do Brasil, essa direção é o norte geográfico. Portanto, os telhados voltados para o norte, noroeste ou nordeste são os mais eficientes (SANTOS SERRAO, 2010). Na Figura 11 é possível visualizar o telhado onde será feita a instalação dos módulos..

Figura 11 – Aviário que será feita a instalação dos módulos.



Fonte: Google Maps (2024).

Como os painéis solares precisam da maior incidência solar possível, deve-se tomar cuidado para que objetos como chaminés, árvores e edifícios que projetem sombras sobre o telhado. Neste caso, como observado na Figura 11, no centro do aviário possui uma chaminé e no final possui árvores que podem atrapalhar a eficiência dos módulos (SANTOS SERRAO, 2010). Portanto, como mostrado na Figura 12, a melhor posição para instalação dos módulos fotovoltaicos seria na área indicada:

Figura 12 – Melhor localização para os painéis fotovoltaicos.



Fonte: Adaptado Google Maps (2024).

3.2 Histórico da energia solar fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico foi utilizada a média de consumo de energia elétrica. Para isso, utilizou-se os dados de energia fornecidos na conta de energia da Celesc, como mostrado na Tabela 2:

Tabela 2 – Consumo mensal do aviário.

Mês	Consumo (kWh)
Outubro (2022)	4621
Novembro (2022)	4234
Dezembro (2022)	4745
Janeiro (2023)	4685
Fevereiro (2023)	5070
Março (2023)	5877
Abril (2023)	5025
Maio (2023)	5661
Junho (2023)	4843
Julho (2023)	3943
Agosto (2023)	1618
Setembro (2023)	5819
Outubro (2023)	5637

Fonte: Autoria própria (2024).

Como é possível observar na Tabela 2, no mês de agosto possui um valor muito abaixo em relação aos demais, isso é devido ao tempo em que o aviário ficou fechado devido a manutenção do mesmo, com isso, o mês de agosto ficara de fora da média de consumo. Resultando na média de consumo mensal de 5013,0 kWh.

3.3 Irradiação solar no local

De acordo com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB (2024), é possível coletar os dados de irradiação solar da região onde será

a instalação do sistema fotovoltaico, mas como o site utiliza as coordenadas, nem sempre o ponto escolhido tem as informações mais precisas, no entanto é utilizado as informações da localidade mais próxima do ponto escolhido. Na Tabela 3 é possível observar a média da irradiação em cada mês por diferentes ângulos de inclinação e por fim a média no ano.

Tabela 3 – Irradiação solar diária média mensal.

Irradiação solar diária média mensal (kWh/m².dia)				
Mês	Plano Horizontal (0° N)	Ângulo igual a Latitude (26° N)	Maior Média Anual (21° N)	Maior mínimo mensal (46° N)
Janeiro	5,45	4,91	5,07	4,10
Fevereiro	5,10	4,87	4,97	4,25
Marco	4,55	4,72	4,74	4,39
Abril	3,60	4,12	4,07	4,11
Mai	2,92	3,67	3,36	3,87
Junho	2,49	3,27	3,16	3,53
Julho	2,77	3,59	3,47	3,85
Agosto	3,69	4,46	4,37	4,59
Setembro	3,75	4,01	4,01	3,83
Outubro	4,37	4,27	4,34	3,81
Novembro	5,29	4,84	4,97	4,08
Dezembro	5,64	5,00	5,17	4,11
Média Anual	4,13	4,31	4,32	4,04
Delta	3,15	1,73	2,02	1,06

Fonte: Adaptado de CRESESB (2024).

3.4 Dimensionamento dos Painéis

Para o cálculo da potência total dos painéis, foi necessário coletar mais algumas informações da conta de energia, que são os dados de ligação, que neste caso foi verificado como ligação Rural – Trifásica. Neste caso, o consumidor tem a obrigação de pagar uma taxa mínima pela disponibilidade da rede elétrica de 100 kWh

para a distribuidora (PINHO; GALDINO, 2014). Portanto os painéis não precisaram gerar os 5013,0 kWh mensais, e sim como mostrado na equação a seguir:

$$\text{Consumo medio mensal} = 5013,0 - 100,0 = 4913,0 \text{ kWh/mes} \quad (18)$$

$$\text{Consumo medio diario} = \frac{4913,0}{30} = 163,77 \text{ kWh/dia} \quad (19)$$

Em seguida, o cálculo da potência total dos painéis fotovoltaicos foi realizado considerando a eficiência do sistema de 80%.

$$\text{Potencia total paineis} = \frac{\text{Energia geracao diaria}}{\text{Tempo exposicao} \times \text{Eficiencia}} \quad (20)$$

$$\text{Potencia total paineis} = \frac{163,77}{4,13 \times 0,8} = 49,567 \text{ kWp} \quad (21)$$

Após encontrar a potência total do sistema, deve ser escolhido primeiramente qual modelo de painel que será utilizado na instalação, para isso, foi selecionado o modulo da Canadian Solar (anexo A), como mostra os dados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados do modulo.

Modelo	CS7N-650MS
Largura	1303 mm
Altura	2384 mm
Espessura	35mm
Peso	33,9 kg
Potência máxima	650 Wp
Tensão de pico	37,9 V
Corrente de pico	17,16 A
Tensão de circuito aberto	45,0 V
Corrente de curto-circuito	18,39 A
Eficiência	20,9%

Fonte: Adaptado de CANADIAN SOLAR (2024).

Em seguida foi possível encontrar a quantidade de painéis que serão utilizados no sistema fotovoltaico através das equações 22 e 23:

$$\text{Numero de paineis} = \frac{\text{Potencia total paineis}}{\text{Potencia por painel}} \quad (22)$$

$$\text{Numero de paineis} = \frac{49,567}{0,650} = 76,26 \text{ paineis} \quad (23)$$

Chegando ao valor final de 76,26 módulos para gerar a energia necessária do aviário. Entretanto, como não é possível ter painéis pela metade, optou-se por arredondar para 78 painéis, pois nem sempre a irradiação do sol chega no valor utilizado e pelas perdas que ocorrem no sistema. Sendo assim, recalculando a potência total que será gerada pelo sistema, obtém-se:

$$\text{Potencia total paineis} = \text{Numero de paineis} \times \text{Potencia por painel} \quad (24)$$

$$\text{Potencia total paineis} = 78 \times 650 = 50,700 \text{ kWp} \quad (25)$$

3.5 Inversor

Para dimensionar o inversor, deve-se utilizar um fator de sobrecarregamento de 20% para mais e para menos, que será a faixa de potência que o inversor deve possuir para operar adequadamente (PINHO; GALDINO, 2014). Como mostrado nas equações 26 a 29:

$$\frac{\text{Poten.tot.paineis}}{1,2} < \text{Faixa de Poten. inver.} \quad (26)$$

$$\text{Faixa de Poten. inver.} < 1,2 \times \text{Poten. tot. dos paineis} \quad (27)$$

$$\frac{50,700}{1,2} < \text{Faixa de Poten. inver.} < 1,2 \times 50,700 \quad (28)$$

$$42,250\text{kW} < \text{Faixa de Poten. inver.} < 60,840\text{kW} \quad (29)$$

Em seguida, após consultar os fornecedores de inversores, foi escolhido o inversor da ATESS (anexo B), com as seguintes características da Tabela 5:

Tabela 5 – Datasheet inversor.

Modelo	HPS50000TL
Largura	600 mm
Altura	990 mm
Espessura	280 mm
Peso	90 kg
Potência	50kW
Tensão Máxima de entrada	1000 V
Tensão Mínima de entrada	125 V
Tensão de Saida	380 V
Máxima Corrente de curto-circuito	90 A
Máxima Corrente Saida	72 A

Fonte: Adaptado de ATESS (2024).

3.6 Strings

Com base nos parâmetros dos painéis e do inversor, é possível dimensionar o número de painéis necessários por cada *string* e o número de *strings* do sistema, neste caso será utilizada as seguintes informações:

- Tensão de circuito aberto (Voc) dos painéis solares: 45,0V
- Corrente de curto-circuito (Isc) dos painéis solares: 18,39A
- Tensão máxima de circuito aberto do inversor: 1000V
- Tensão mínima de entrada do inversor: 125V
- Corrente máxima de curto-circuito do inversor: 90A
- Número total de painéis: 78 painéis

Com essas informações, foram realizados primeiramente o cálculo da tensão de circuito aberto (Voc) de uma *string*, que será a soma das tensões de circuito aberto de cada painel, considerando 13 painéis para cada *string*, tem-se:

$$V_{oc, string} = 13 \times 45,0 = 585,0V \quad (30)$$

Portanto, tem-se 6 *strings* de 13 painéis em série. O próximo passo é calcular a corrente de curto-circuito de uma *string*, neste caso seria a própria corrente

de curto-circuito de um painel, portanto, a corrente de curto-circuito de cada *string* é de 18,39A. Neste caso, será utilizada duas *strings* em paralelo, resultando em:

$$I_{sc,string} = 2 \times 18,39 = 36,78A \quad (31)$$

3.7 Proteção contra sobrecorrente

Como atribuído pela NBR – 16690:2019, quando há a instalação do sistema fotovoltaico junto com a utilização de baterias ou quando a outras fontes que possam gerar corrente para o arranjo fotovoltaico, deve ser utilizado dispositivos de proteção contra sobrecorrente. Portanto, para o dimensionamento destes dispositivos utilizamos a equação 32:

$$1,25 \times I_{sc,arranjo} < I_n < 2,4 \times I_{sc,arranjo} \quad (32)$$

Onde:

- I_n : Corrente nominal do dispositivo de proteção;
- $I_{sc,arranjo}$: Corrente do arranjo fotovoltaico.

$$1,25 \times 36,78 < I_n < 2,4 \times 36,78 \quad (33)$$

$$45,98A < I_n < 88,27A \quad (34)$$

3.8 Cabeamento

Segundo a NBR - 16690:2019 o dimensionamento dos cabos para utilização em sistemas fotovoltaicos, devem seguir as mesmas especificações da NBR – 5410:2004, e cada circuito deve ser claramente identificados (contendo etiquetas e condutores de cores diferentes) para evitar que as linhas de corrente contínua sejam confundidas com as de corrente alternada. Portanto, utiliza-se a equação 35 para determinar a seção mínima do condutor:

$$S = p \times \left(\frac{D \times I}{V} \right) \quad (35)$$

Onde:

- S: Seção mínima do condutor em mm²;
- P: Resistividade do material do condutor, geralmente cobre;
- D: distância total do condutor;
- I: corrente que passa pelo condutor;
- V: queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado.

Como ainda não possui os dados da distância do condutor, não será abrangido o dimensionamento dos cabos no decorrer do estudo, mas se futuramente o projeto for executado, deve-se utilizar esse método de dimensionamento.

3.9 Baterias

Como citado anteriormente, é necessário ter um limite da profundidade de descarga da bateria, para evitar sua degradação precoce, com isso foi adotado 30% de profundidade de descarga, como recomendado pelos fabricantes. Outro fator que se deve adotar, é a autonomia do sistema, que significa o quanto tempo o sistema de armazenamento das baterias será capaz de suprir a demanda devido a dias nublados ou de chuva. Portanto, será considerado 1 dia de autonomia (SANTOS SERRAO, 2010). Com isso, foi possível calcular a energia armazenada pelo banco de baterias conforme as equações 36 e 37 abaixo:

$$Energia\ Armazenada = \frac{Consumo\ medio\ diario}{Profundidade\ de\ descarga} \quad (36)$$

$$Energia\ Armazenada = \frac{163,77}{0,3} = 555,90kWh \quad (37)$$

Em seguida, foi necessário calcular o número de baterias em série, para isso, foram utilizados os dados do inversor híbrido, como a tensão mínima e a tensão nominal de entrada. Outra informação necessária, foi a escolha da bateria, que como observado anteriormente, a bateria de íon lítio é uma boa escolha devido a sua capacidade de armazenamento, profundidade de descarga, vida útil e demandam uma baixa manutenção. A bateria escolhida foi a UPLFP48-100, da Unipower (anexo C), que é uma bateria específica para este tipo de aplicação.

Para saber o número de baterias em série, foi utilizado as seguintes informações:

- Tensão da bateria (V_{bt}): 48V
- Tensão mínima de entrada no inversor (V_{min}): 260V
- Tensão máxima de entrada no inversor (V_{nm}): 700V

$$\text{Numero minimo de baterias} = \frac{V_{min}}{V_{bt}} = \frac{260}{48} = 5,42 \quad (38)$$

$$\text{Numero maximo de baterias} = \frac{V_{nm}}{V_{bt}} = \frac{700}{48} = 14,58 \quad (39)$$

Portanto, para o dimensionamento do banco de baterias, deve-se adotar um número entre 6 e 14 baterias em série. Devido à grande potência do sistema, foi optado por utilizar 12 baterias em série, obtendo um valor de tensão de 576V para cada arranjo. Com isso temos:

$$\text{Capacidade do Banco de Baterias} = \frac{\text{Energia armazenada}}{\text{Tensao do banco de baterias}} \quad (40)$$

$$\text{Capacidade do Banco de Baterias} = \frac{555,90}{576} = 965,10Ah \quad (41)$$

$$\text{Numero de Baterias em paralelo} = \frac{965,10}{100} = 9,65 \text{ baterias} \quad (42)$$

Por fim, fez-se o cálculo do número total de baterias, onde temos 12 em série multiplicado por 10 baterias em paralelo, dando no total de 120 baterias necessárias para o suprimento da carga durante um dia. Com a bateria escolhida e devido ao grande número de baterias necessárias, pode-se utilizar racks para melhor disposição e evitar o acúmulo de sujeira nas baterias.

É importante ressaltar que a análise econômica é uma etapa fundamental para avaliar a viabilidade e o retorno sobre o investimento de um determinado projeto ou estudo. No entanto, neste trabalho em particular, a análise econômica não foi incluída, focando exclusivamente no dimensionamento do sistema fotovoltaico. Portanto, embora a análise econômica não tenha sido realizada neste estudo, o dimensionamento cuidadoso do sistema fotovoltaico estabelece uma base sólida para futuras análises econômicas e permite uma compreensão mais completa da viabilidade e benefícios do projeto como um todo.

4 CONCLUSÃO

O principal objetivo do presente trabalho foi propor um sistema fotovoltaico junto com um sistema de armazenamento de energia utilizando-se baterias para suprimento energético de um aviário localizado no interior de Mafra-SC. Tal estudo acaba sendo referência para motivar possíveis investimentos no local, visto que tem o risco de falha no fornecimento de energia, podendo causar um elevado prejuízo.

Por meio de uma fundamentação teórica, apresentando as principais características de um sistema de armazenamento de energia, em especial as baterias de chumbo-acido, lítio-íon, sódio-enxofre, níquel-cadmio e de fluxo, foi possível um embasamento teórico conduzindo os cálculos e definições para o futuro projeto.

O armazenamento de energia excedente por meio de baterias é uma solução promissora e versátil que desempenha um papel fundamental na transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Esta tecnologia oferece uma resposta eficaz aos desafios apresentados pelas fontes de energia intermitentes, como a solar e eólica, permitindo que a energia gerada em momentos de abundância seja armazenada para uso posterior.

Uma das principais vantagens do armazenamento de energia com baterias é a capacidade de reduzir o desperdício de energia. Em sistemas de geração de energia renovável, como painéis solares e turbinas eólicas, a produção de energia pode variar significativamente devido a fatores climáticos. O armazenamento de energia permite capturar o excesso de energia produzido durante os períodos de alta geração e utilizá-lo quando a produção é baixa, evitando assim o desperdício de recursos.

Além disso, as baterias desempenham um papel crucial na estabilização das redes elétricas. Elas podem ser usadas para fornecer energia durante picos de demanda, reduzindo a pressão sobre as usinas de geração e evitando a necessidade de construir infraestruturas caras para atender a esses picos. Isso pode levar a uma maior eficiência energética e redução de custos para os consumidores.

Além das aplicações em larga escala, as baterias de armazenamento também têm um papel importante em nível residencial e comercial. Os sistemas de armazenamento residencial permitem que os proprietários de casas maximizem o uso da energia solar, armazenando o excesso de energia durante o dia para uso à noite.

Isso não só reduz a dependência da rede elétrica, mas também pode resultar em economias significativas nas contas de energia.

No entanto, existem desafios a serem superados, como a necessidade de melhorar a eficiência e a capacidade das baterias, bem como lidar com questões de descarte responsável de baterias usadas. Além disso, o custo inicial de aquisição de sistemas de armazenamento de energia pode ser um obstáculo para alguns consumidores, embora os preços estejam em declínio.

No geral, o armazenamento de energia por meio de baterias é uma tecnologia em crescimento que desempenhará um papel crucial na transição para um sistema de energia mais sustentável e confiável. Com avanços contínuos, espera-se que essa tecnologia continue a se expandir e desempenhar um papel fundamental na transformação do setor de energia.

Assim sendo, como sugestão para trabalhos futuros, é possível apresentar um detalhamento maior sobre o sistema de controle. Apresentar os cálculos dos investimentos que serão realizados e observar em quanto tempo o sistema se pagará.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR-16690. **Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos-Requisitos de projeto**. v. 1, p. 1-65. out. 2019. Disponível em: https://saturno.crears.org.br/pop/profissional/ABNT_NBR_16690_2019.pdf. Acesso em: 9 jan. 2024.
- AKINYELE, D. O.; RAYUDU, R. K. Review of Energy Storage Technologies for Sustainable Power Networks, **Journal of Sustainable Energy Technologies and Assessments**, Nova Zelândia, Jul. 2014. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2014.07.004>. Acesso em: 25 nov. 2022.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. 2ª edição. Brasília, DF, 2015.
- ASSUNCAO JUNIOR, Milton O. **Modelagem matemática de baterias redox de vanádio**. Disponível em: <https://www.pdfdrive.com/modelagem-matem%C3%A1tica-de-baterias-redox-de-van%C3%A1dio-e138632600.html>. Acesso em 20 maio 2023
- ATESS. **Datasheet ATESS HPS30000TL/40000TL/50000TL**. Disponível em: <https://www.atesspower.com/Product/Energy/Hybrid/155.html>. Acesso em 10 jan. 2024.
- BARANDAS, Ana P.M.G.; VALVERDE Jr, Ivam M.; AFONSO, Júlio C. **Recuperação de cádmio de baterias níquel-cádmio via extração seletiva com tributilfodasto (TBP)**. Rio de Janeiro, v. 30, n. 3, p. 712-717, maio.2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300035>. Acesso em: 26 nov. 2022.
- BATERIAS TUDOR. **Defeitos comuns**. Disponível em: http://tudor.com.br/pt_br/produtos/automotiva-leve/defeitos-comuns. Acesso em: 17 abr. 2023.
- BATTERY UNIVERSITY. **Como prolongar baterias à base de lítio**. Disponível em: <https://batteryuniversity.com/article/bu-808-how-to-prolong-lithium-based-batteries>. Acesso em: 25 fev. 2023a.
- BATTERY UNIVERSITY. **BU-203: Baterias à base de níquel**. Disponível em: <https://batteryuniversity.com/article/bu-203-nickel-based-batteries>. Acesso em: 16 mar. 2023b.
- BITO, A. Overview of the sodium-sulfur battery for the IEEE Stationary Battery Committee, **IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005**, San Francisco, CA, USA, 2005, pp. 1232-1235 Vol. 2. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PES.2005.1489556>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz C.; BIAGGIO, Sonia R. **Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental**. n. 11, MAIO. 2000. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc11/v11a01.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

CANADIAN SOLAR. Tecnologia solar e energia renovável. Disponível em: <https://www.csisolar.com/br/downloads?downid=18115>. Acesso em 9 jan. 2024.

CARNEIRO, R. L. *et al.* **Aspectos essenciais das Baterias Chumbo-Ácido e Princípios Físico-Químicos e Termodinâmicos do seu Funcionamento.** São Paulo, v. 9, n. 3, p. 889-911, jun. 2017. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v9n3a06.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

CHALAMALA, B.R. *et al.* Redox Flow Batteries: An Engineering Perspective, **Proceedings of the IEEE**, v. 102, n. 6, p. 976-999, jun. 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6816026>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CHEN, Mengyuan *et al.* **Recycling End-of-Life Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries.** v. 3, n. 11, p. 2622-2646, nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S254243511930474X>. Acesso em: 10 abr. 2023.

CHEN, Haisheng *et al.* Progress in electrical energy storage system: A critical review, **Progress in Natural Science**, v. 19, n. 3, 2009, p. 291-312. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.014>. Acesso em: 20 maio 2023.

CHEN, F. *et al.* Design and application of energy management system for sodium sulfur battery, **2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)**, Beijing, China, 2017, p. 1-6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8245620>. Acesso em: 24 abr. 2023.

COLLE, S. & PEREIRA, E. B. **Atlas de Irradiação Solar do Brasil**, LABSOLAR – INMET, Florianópolis. 2016.

CRESESB. **Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 9 jan. 2024.

DIVYA, K. C.; OSTERGAARD, J. Battery energy storage technology for power systems-An overview, **Electric Power Systems Research**, vol. 79, no. 4, pp. 511–520, Apr. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2008.09.017>. Acesso em: 15 mar. 2023.

EFTEKHARI, Ali. **Baterias de íon de lítio com recursos de alta taxa.** ACS Sustainable Chem. Eng. v. 5, n. 4, p. 2799-2816, mar. 2017. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acssuschemeng.7b00046#2017>). Acesso em: 06 abr. 2023.

ENERGIAS RORAIMA. **Estudo de baterias para armazenamento de energia excedente.** Disponível em: <https://energiasroraima.com.br/baterias-sao-usadas-para-armazenamento-de-energias-renovaveis-e-podem-reduzir-oscilacoes-no-sistema/>. Acesso em: 14 nov. 2022.

ECO RESPONSE. **O futuro da energia renovável no Brasil**. Disponível em: <https://www.ecoresponse.com.br/blog/noticia-interna/energia-renovavel-brasil-252>. Acesso em: 19 nov. 2022.

EPE. **Cenários de Demanda para o PNE 2050**. dez. 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/Cen%C3%A1rios%20de%20Demanda.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2022.

EPE. **Sistemas de armazenamento em baterias**. nov. 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-441/EPE-DEE-NT-098_2019_Baterias%20no%20planejamento.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022.

FOLEY, A. M. ET AL. Métodos atuais e avanços na previsão da geração de energia eólica. **Energia renovável**, vol. 37, no. 1, pp. 1-8, 2015.

GALDINO, M. A.; PINHO, J. T. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, mar. 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf.

GELLER, H. O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil, INEE, ACEEE. Solar Energy, Vol. 70. 2014.

GERHARD, Ett. **Sistemas Eletroquímicos para Armazenamento de Energia**. Disponível em: <https://www.portalts.com.br/sistemas-eletroquimicos-para-armazenamento-de-energia>. Acesso em: 20 nov. 2022.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-26.2284817,-49.8284836,188m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>. Acesso em: 9 jan. 2024.

GREENER. **Mercado de Armazenamento: Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras**. Disponível em: <https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2021/01/Versao-Light-Reduzida-30-slides-Estudo-Estrategico-do-Mercado-de-Armazenamento-de-Energia-no-Brasil-1.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2023.

GRID ENERGIA. **Baterias de Fluxo Redox são uma alternativa às baterias de Lítio-íon**. Disponível em: <https://gridenergia.com.br/o-que-sao-baterias-de-fluxo-redox/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

IEMA. **Emissões de gases de efeito estufa de usinas termelétricas cresceram 75%**. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-de-usinas-termelétricas-cresceram-75-20221215>. Acesso em: 20 fev. 2023.

JOLLY, R.; RHIN, C. The recycling of lead-acid batteries: production of lead and polypropylene, Resource Conservation and Recycling, 1994. Acesso em 31 mar. 2023.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. & PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**, PW Editores. 2017.

MANTUANO, D. P. *et al.* Pilhas e baterias portáteis: legislação, processos de reciclagem e perspectivas. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, (21), 1-13. Acesso em 12 abr. 2023.

MAZZER, Cassiana; CAVALCANTI, Osvaldo Albuquerque. Introdução à gestão ambiental de resíduos. **Infarma Ciênc Farmac**, v. 16, p. 11-12, 2004. Disponível em: <https://www.cff.org.br/sistemas/geral/revista/pdf/77/i04-aintroducao.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2023.

NEO SOLAR. **Controlador de carga- energia solar**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/controlador-de-carga-solar>. Acesso em: 20 jan. 2024.

NIKIFORIDIS, Georgios; SANDEN, MCM Van de; TSAMPAS, Michail N. **Baterias de sódio-enxofre de alta e média temperatura para armazenamento de energia: desenvolvimento, desafios e perspectivas**. Eindhoven, Holanda, v. 9, p. 5649-5673, fev. 2019. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2017/sc/c8ra08658c>. Acesso em 27 mar. 2023.

ONS. **Capacidade instalada de energia**. Disponível em: http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/capacidade_instalada.aspx. Acesso em: 09 jan. 2024.

PAIXÃO, Bárbara A. L. **Comparação de vida útil entre bancos de baterias de íon-lítio e chumbo-ácido no contexto da compensação de energia com geração distribuída fotovoltaica e tarifa branca**. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/37554>. Acesso em: 16 abr. 2023.

PARASURAMAN, Aishwarya *et al.* **Review of material research and development for vanadium redox flow battery applications**. v. 101, p. 27-40, jul. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.09.067>. Acesso em: 20 maio 2023.

ROMERO, Antonio H. **Análisis económico de un sistema de almacenamiento para la disminución de desvíos de producción en un parque eólico**. Projeto Final (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade de Sevilla, Sevilla, Espanha, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/132455226.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SANTOS SERRAO, M. A. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em pouso da Cajaíba-Paraty**. 2010. Dissertação (Graduação em Engenharia elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000620.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2024.

SCHIPITOSKI, Kelly. **Estudo comparativo de tecnologias de armazenamento de energia produzida a partir de fontes renováveis**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP - Universidade Estadual Paulista, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/235853>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SILVA, V. B. **A Energia Elétrica no Brasil, da primeira lâmpada à Eletrobrás**. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 2017.

SILVA, A. S.; SOUZA F. M. C. de **Viabilidade Econômica da Energia Solar Associação Brasileira de Engenharia de Produção, ABEPRO.**, 2018. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/ENESEP1998_ART113.pdf. Acesso em: 15 de set. 2023.

SIQUEIRA, Fabiana. **Efeito Memória: O que causa e como se prevenir dele**. Espaço digital, distribuição em áudio e vídeo profissional, 2019. Disponível em: <https://espacodigital.tv/blog/efeito-memoria-cao-prevencao-espaco-digital/>. Acesso em: 25 jan. 2023.

SECPOWER. **Como as baterias são recicladas**. Disponível em: <https://secpower.com.br/como-as-baterias-sao-recicladas/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

STA. **Formato de baterias de NiCd**. Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-nicd/formatos-de-baterias>. Acesso em: 03 mar 2023.

SUNGOD ENERGY. **Sistemas fotovoltaicos híbridos e off-grid como funcionam**. Disponível em: <https://www.sungodenergy.com.br/sistemas-fotovoltaicos-hibridos-e-off-grid-como-funcionam/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

UNIPOWER. **Baterias de Lítio**. Disponível em: <https://sosolar.com.br/bateria-solar-de-litio-unipower-uplfp48-100-3u-48v-100ah-5kwh-unicoba-p5349>. Acesso em: 10 jan. 2024.

VASCONCELOS, L. B. **Estratégias de armazenamento de energia com baterias para atender um consumidor do grupo A no horário de ponta**. Monografia (Graduação em engenharia elétrica) – Universidade Federal do Ceara, Fortaleza 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/65848>. Acesso em: 20 jan. 2024.

VAZQUEZ, S. *et al.* Sistemas de Armazenamento de Energia para Aplicações de Transporte e Rede, em **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, vol. 57, nº. 12, pp. 3881-3895, dez. 2010. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5582228#:~:text=10.1109/TIE.2010.2076414>. Acesso em: 15 mar. 2023.

VICTRON ENERGY. **Baterias de GEL e AGM**. Disponível em: <https://www.victronenergy.pt/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-PT.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2024.

XIN, L. *et al.* **Revisão crítica da avaliação do ciclo de vida de baterias de íon-lítio para veículos elétricos: uma perspectiva de vida útil.** v. 12, p.100-169. maio. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2022.100169>. Acesso em: 10 abr. 2023.

WANG, Yun-Xiao *et al.* **Baterias de sódio-enxofre em temperatura ambiente:** uma revisão abrangente sobre o progresso da pesquisa e a química celular. v. 7, n. 24, jun. 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aenm.201602829>. Acesso em: 05 maio 2023.

ANEXO B – Datasheet Inversor Híbrido.

	HPS30000TL	HPS40000TL	HPS50000TL
AC(on-grid)			
Apparent power	33kVA	44kVA	55kVA
Rated power	30kW	40kW	50kW
Rated voltage	400V	400V	400V
Rated current	43A	57A	72A
Voltage range	360V-440V	360V-440V	360V-440V
Rated frequency	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz
Frequency range	47~51.5/57~61.5Hz	47~51.5/57~61.5Hz	47~51.5/57~61.5Hz
THDI	<3%	<3%	<3%
PF	0.8 lagging~0.8 leading	0.8 lagging~0.8 leading	0.8 lagging~0.8 leading
AC connection	3/N/PE	3/N/PE	3/N/PE
AC(off-grid)			
Apparent power	33kVA	44kVA	55kVA
Rated power	30kW	40kW	50kW
Rated voltage	400V	400V	400V
Rated current	43A	57A	72A
THDU	≤2% linear	≤2% linear	≤2% linear
Rated frequency	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz
Overload capability	110%-10 mins 120%-1 min	110%-10 mins 120%-1 min	110%-10 mins 120%-1 min
DC (Battery and PV)			
Max. PV Open-circuit voltage	1000V	1000V	1000V
Max. PV power	45kWp	60kWp	75kWp
PV MPPT voltage range	125V-850V	125V-850V	125V-850V
Number of MPPT	3	3	3
PV input/MPPT	2/3/3	2/3/3	2/3/3
PV input current	40/60/60A	40/60/60A	40/60/60A
Max. PV Isc	60/90/90A	60/90/90A	60/90/90A
Max. PV Isc/Channel	20A	20A	20A
Battery voltage range	260-700V	260-700V	260-700V
Full load battery voltage range	350-720V	400-700V	400-700V
Max. charge/discharge power	30kW	40kW	50kW
Max. charge/discharge current	100A	100A	100A
General Information			
Protection devices	PV DC switch, PV fuse, battery breaker and fuse	PV DC switch, PV fuse, battery breaker and fuse	PV DC switch, PV fuse, battery breaker and fuse
Protection degree	IP54	IP54	IP54
Noise emission	<65dB(A)@1m	<65dB(A)@1m	<65dB(A)@1m
Operating temperature	-25 °C~+55 °C	-25 °C~+55 °C	-25 °C~+55 °C
Cooling method	Forced-air	Forced-air	Forced-air
Relative humidity	0-95% non-condensing	0-95% non-condensing	0-95% non-condensing
Max. altitude	5000m (derate over 3000m)	5000m (derate over 3000m)	5000m (derate over 3000m)
Dimension (W/H/D)	600/990/280mm	600/990/280mm	600/990/280mm
Weight	90kg	90kg	90kg
Topology	Transformerless	Transformerless	Transformerless
Lightning protection	Type II	Type II	Type II
Transfer between on/off grid	Automatic≤10ms	Automatic≤10ms	Automatic≤10ms
Standby consumption	<20W	<20W	<20W

Fonte: ATESS (2024).

ANEXO C – Bateria de Ion Lítio.



Modelo	UPLFP48-100
Tensão (V)	48
Capacidade C5 (Ah)	100
Energia C5 (Wh)	5000
Comprimento (mm)	442
Largura (mm)	520
Altura (mm)	205 (5U)
Tipo Terminal	2 x M6
Peso (kg)	56
Garantia (anos)	5

Fonte: UNIPOWER (2020).