

**MARINHA DO BRASIL**  
**DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE ALEXANDRINO**

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM**  
**SISTEMAS DE CONTROLE E ELETRICIDADE DE NAVIOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**FONTES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA DE ALTA CAPACIDADE: Uma Análise**  
**aplicada em Navios-Patrolha da Classe Grajaú**



**1º Ten VICTOR MAYER DRIENDL CARDOZO**

**Rio de Janeiro**  
**2023**

1º Primeiro Ten VICTOR MAYER DRIENDL CARDOZO

FONTES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA DE ALTA CAPACIDADE: Uma análise  
aplicada em Navios-Patrolha Classe Grajaú

Monografia apresentada ao Centro de Instrução  
Almirante Alexandrino como requisito parcial à  
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em  
Sistemas de Controle e Eletricidade para Navios.

Orientadores:

Prof Murilo Eduardo Casteroba Bento D.Sc.

CT (EN) Thiago Gouveia Saraiva, Bel.

CIAA  
Rio de Janeiro  
2023

1º Ten VICTOR MAYER DRIENDL CARDOZO

FONTES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA DE ALTA CAPACIDADE: Uma análise  
aplicada em Navios-Patrolha Classe Grajaú

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial  
à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistemas de Controle e Eletricidade  
de Navios.

Aprovada em \_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

Murilo Eduardo Casteroba Bento, D.Sc- UFRJ \_\_\_\_\_

Thiago Gouveia Saraiva, Bel – MB \_\_\_\_\_

Fábio da Cunha Gomes, Bel - MB \_\_\_\_\_

CIAA

Rio de Janeiro

2023

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha mais profunda e sincera gratidão a Deus, que com Seu amor incondicional e graça infinita, me deu o dom da vida e a força para superar todos os obstáculos e desafios que surgiram ao longo deste árduo, mas gratificante, processo acadêmico. Sua presença constante foi a fonte de inspiração e a rocha sobre a qual pude construir este projeto.

À Gabriela, meu grande amor, devo um agradecimento que vai além das palavras. Sua paciência incansável, amor incondicional e companheirismo constante foram o sustentáculo durante os momentos de sacrifícios e noites mal dormidas em prol deste ano acadêmico. Você é a luz verde que ilumina minha vida, eu te amo.

Ao meu querido pai, minha eterna gratidão por seu suporte emocional e moral inabalável. Sua paciência e dedicação paternal foram decisivos para conclusão dessa pesquisa.

Aos meus orientadores, CT (EN) Gouveia e Prof. Murilo, estendo minha mais sincera gratidão e respeito. Pela sua orientação, prestatividade e incentivo, não apenas enriqueceram este estudo, mas me tornaram um profissional melhor.

Ao Professor Cesar Lampe, coordenador de SCELN, minha gratidão pela sua paciência, empatia genuína e brilhantismo, que nunca diminuíram, desde a primeira aula que tive na Marinha. Sua forma de ensinar e conduzir o curso não é de apenas de um bom professor, mas exemplo de ser humano, muito obrigado.

Aos professores militares e civis da UFRJ que contribuíram para o curso de SCELN, minhas considerações e agradecimentos pelo tempo e boa vontade em transmitir conhecimento valioso.

Aos militares do Navio-Patrolha Gurupá, e em especial ao Comandante do Navio, CT Sendão e ao Chefe de Máquinas, 1T Assumpção, minha amizade e gratidão. Sua camaradagem, hospitalidade e a oportunidade de sentir a nostalgia e o espírito dessa bela classe de navio será sempre agradecida.

Ao ISG (EL) Henrique Silva, Condutor EL do Navio-Patrolha Guajará, minha gratidão é pela disposição em ajudar, seu conhecimento técnico e boa vontade que foram fundamentais para esta pesquisa. Por fim, mas não menos importante, a todos que de alguma forma contribuíram para esta etapa intensa e repleta de aprendizado e sacrifícios, meus agradecimentos mais sinceros e fraternos. Que Deus, em Sua infinita bondade, possa retribuir a cada um de vocês de maneiras que eu não posso.

Com profunda gratidão.

# FONTES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA DE ALTA CAPACIDADE: Uma Análise aplicada em Navios-Patrolha Classe Grajaú

## Resumo

O presente estudo examina a viabilidade e eficácia da implementação de Fontes de Alimentação Ininterrupta (UPS) com baterias de íon-lítio em Navios-Patrolha da Classe "Grajaú". O foco é otimizar o gerenciamento energético a bordo, levando em conta aspectos técnicos, operacionais, normativos e financeiros. A metodologia utilizada é descritiva e aplicada, fundamentada em uma revisão bibliográfica abrangente e coleta de dados in loco no Navio-Patrolha Gurupá. Os resultados apontam que a UPS com baterias de íon-lítio pode proporcionar um fornecimento de energia mais estável e confiável, o que é crucial para a operação eficiente do navio e a segurança da tripulação. No entanto, a análise econômica revela que, apesar do potencial para redução significativa no consumo de combustível, a implementação da UPS não se mostrou financeiramente viável no cenário atual. A margem de diferença foi pequena, indicando que há potencial para viabilidade em circunstâncias ligeiramente diferentes ou com avanços tecnológicos e reduções de custo. Além disso, a pesquisa identifica limitações como a falta de dados práticos sobre a eficiência energética do sistema e a escassez de fabricantes nacionais de baterias de íon-lítio. Do ponto de vista da gestão ambiental, a UPS tem o potencial de reduzir significativamente as emissões de CO<sub>2</sub>, contribuindo para a sustentabilidade e conformidade com as regulamentações ambientais. Em conclusão, embora a implementação de UPS com baterias de íon-lítio em Navios-Patrolha da Classe "Grajaú" não tenha se mostrado financeiramente viável neste estudo, o potencial para tal existe, especialmente considerando a pequena margem de diferença nos custos e os benefícios ambientais. Recomenda-se que estudos futuros incluam testes empíricos para validar a eficiência do sistema e uma análise financeira mais detalhada.

**Palavras-chave:** Fonte de Alimentação Ininterrupta, Navio-Patrolha Classe Grajaú, Bateria LiFePo<sub>4</sub>, Eficiência, Estabilidade Energética.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fotografia de um NPa Classe Grajaú.....	20
Figura 2 - Fotografia do QEP durante teste de carga máxima no NPa Gurupá.....	22
Figura 3 - Diagrama de UPS do tipo <i>offline</i> .....	24
Figura 4 - Diagrama de UPS do tipo <i>line-interactive</i> .....	24
Figura 5 - Diagrama de UPS do tipo <i>online</i> de dupla conversão .....	26
Figura 6 - Ilustração tipo <i>Tradeoff</i> das principais baterias de Lítio.....	29
Figura 7 - Exemplo de bateria de Óxido de Lítio Cobalto .....	30
Figura 8 - Navio Felicity Ace durante incêndio que envolveu baterias de lítio.....	31
Figura 9 - Resposta térmica da bateria LiFePO4 durante descarga contínua a 3C .....	37
Figura 10 - Representação gráfica do efeito Peak Shaving .....	42
Figura 11 - Compartimento de recarga e baterias para uso geral .....	44
Figura 12 - Fotografia da medição realizada durante partida do MCP de Bombordo.....	45
Figura 13 - Teste de Perfuração.....	49
Figura 14 - Teste de sobrecarga.....	49
Figura 15 - Teste de sobreaquecimento .....	49
Figura 16 - Bateria CATL LEP54H4K1.....	50
Figura 17 - Vista isométrica do Módulo de Potência com distâncias de segurança.....	51
Figura 18 - Orion BMS 2.....	53
Figura 19 - Vista lateral do NPa Classe Grajaú.....	54
Figura 20 - Vista superior do convés 1 .....	54
Figura 21 - Vista frontal do Quadro de baterias .....	56
Figura 22 - Vista lateral e superior do Quadro de baterias .....	57
Figura 23 - Causas geradoras de Realimentação térmica .....	60
Figura 24 - Níveis de prevenção de incêndio .....	62
Figura 25 - Performance dos agentes extintores utilizados em Baterias de Lítio.....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distúrbios típicos e capacidade de compensação de cada UPS .....	27
Tabela 2 - Dados de geração térmica em temperaturas e correntes variadas. ....	35
Tabela 3 - Valores assumidos para o estudo.....	69
Tabela 4 – Fluxo de caixa comparativo em regime de 25% de carga máxima .....	73
Tabela 5 - Fluxo de caixa comparativo em regime de viagem.....	73
Tabela 6 - Fluxo de caixa comparativo em regime de teste de carga máxima.....	74
Tabela 7 - Fluxo de caixa comparativo em regime de 50% de carga máxima.....	74
Tabela 8 – Comparativo de custos e rotina de manutenção em 10 anos .....	75
Tabela 9 – Consumo e Redução de CO2 em 10 anos.....	76

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Energia térmica produzida em magnitude variada de corrente a 20°C.....	34
Gráfico 2 - Energia térmica produzida em corrente nominal (1C) entre -10 e 40°C. ....	34
Gráfico 3 - Estimativas de geração térmica a 20°C com corrente 0,7C .....	35
Gráfico 4 - Estimativas de geração térmica a 20°C com corrente 0,5C .....	36
Gráfico 5 - Estimativas de geração térmica a 30°C com corrente 0,5C .....	36
Gráfico 6 - Comparativo de calor dissipado entre baterias LFP e NMC.....	61
Gráfico 7 - Efeito da temperatura de operação na vida útil da bateria .....	67
Gráfico 8 - Espectativa de vida útil das baterias VLRA em carga de flutuação a 50°C .....	68
Gráfico 9 - Relação entre VPL e Taxa de Atratividade.....	71

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Regimes de Operação dos NPas Classe Grajaú .....	22
Quadro 2 - Nomenclatura química das baterias e suas abreviações.....	29
Quadro 3 - Cargas 24V em corrente contínua alimentadas por baterias Chumbo-Ácido .....	43
Quadro 4 - Dados gerais da célula de bateria CATL LEP54H4K1 .....	50
Quadro 5 - Dados de consumo do motor MTU R099TB52B .....	65
Quadro 6 - Expectativa de vida útil das baterias VLRA. ....	67

## LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

IMO	Organização Marítima Internacional
IMDG	The International Maritime Dangerous Goods
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
NPa	Navio-Patrolha
PNCLM	Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
QEP	Quadro Elétrico Principal
DGE	Diesel Gerador de Emergência
GDG	Grupo Diesel Gerador
LFP	Fosfato de lítio ferro
QEE	Quadro Elétrico de Emergência
CCM	Centro de Controle de Máquinas
CIC	Centro de Informações de Combate
CAv	Controle de Avarias
PQS	Pó Químico Seco
VLP	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
IL	Índice de Lucratividade
AFFF	<i>Aqueous Film Forming Foam</i>
VRLA	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>
MCP	Motor de Combustão Principal
MCA	Motor de Combustão Auxiliar

## LISTAS DE SÍMBOLOS

A Ampère

Hz Hertz

V Volt

kW Kilowatt

kg Kilograma

L Litro

°C Graus Celsius

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1</b>	<b>Apresentação do Problema</b> .....	15
<b>1.2</b>	<b>Justificativa e Relevância</b> .....	16
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos.....	17
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Classificação da Pesquisa</b> .....	18
2.1.1	Quanto aos fins .....	18
2.1.2	Quanto aos meios .....	18
<b>2.2</b>	<b>Limitações do Método</b> .....	18
<b>2.3</b>	<b>Coleta de dados e técnicas de pesquisa</b> .....	19
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
<b>3.1</b>	<b>Navio-Patrolha Classe “Grajaú”</b> .....	20
3.1.1	Geração de energia .....	20
3.1.2	Análise de carga elétrica.....	21
<b>3.2</b>	<b>Fontes de alimentação ininterrupta</b> .....	23
3.2.1	Classificação .....	23
3.2.2	Vantagens e Desvantagens .....	26
3.2.3	Avaliação do módulo de potência.....	27
<b>3.3</b>	<b>Baterias</b> .....	28
3.3.1	Critérios de escolha da bateria .....	28
3.3.2	Composição da bateria de lítio .....	30
3.3.3	Riscos associados.....	31
3.3.4	Normas Internacionais .....	32
<b>3.4</b>	<b>Análise térmica da bateria de lítio</b> .....	33
3.4.1	Considerações sobre o controle de temperatura .....	37
3.4.2	Dimensionamento de um banco de baterias .....	38
<b>3.5</b>	<b>Gerenciamento de energia</b> .....	40
3.5.1	Sistema de gerenciamento de bateria.....	40

3.5.2	Qualidade de energia .....	41
3.5.3	“Peak Shaving” .....	41
3.5.4	Substituição de baterias chumbo-ácido .....	43
<b>3.6</b>	<b>Gestão ambiental</b> .....	<b>45</b>
3.6.1	Leis e Normas.....	46
<b>4</b>	<b>DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>Dimensionamento para NPas classe Grajaú</b> .....	<b>47</b>
4.1.1	Avaliação da topologia da UPS.....	47
4.1.2	Configuração de consumo .....	47
4.1.3	Escolha da bateria.....	48
4.1.4	Escolha da topologia do UPS .....	50
4.1.5	Escolha do módulo de potência do UPS .....	51
4.1.6	Configuração do banco de baterias .....	52
4.1.7	Escolha do gerenciador de baterias .....	52
<b>4.2</b>	<b>Acomodação a bordo</b> .....	<b>53</b>
4.2.1	Centro de Informações de Combate .....	54
4.2.2	Estação Rádio .....	55
4.2.3	Disposição do armário de baterias.....	55
<b>4.3</b>	<b>Diretrizes de operação</b> .....	<b>57</b>
4.3.1	Controle de temperatura .....	57
4.3.2	Controle de Avarias.....	59
<b>4.3.2.1</b>	<b>Combate a Incêndio</b> .....	<b>59</b>
<b>4.3.2.2</b>	<b>Agentes extintores</b> .....	<b>62</b>
<b>4.4</b>	<b>Viabilidade econômica</b> .....	<b>64</b>
4.4.1	Análise Técnica de Operação .....	64
<b>4.4.1.1</b>	<b>Grupo Diesel Gerador</b> .....	<b>64</b>
<b>4.4.1.2</b>	<b>UPS</b> .....	<b>65</b>
<b>4.4.1.3</b>	<b>Baterias de Chumbo-Ácido</b> .....	<b>67</b>
4.4.2	Análise de Investimento e retorno.....	68
4.4.3	Indicadores .....	70
4.4.4	Análise de Resultados .....	71
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>77</b>

<b>5.1</b>	<b>Considerações Finais.....</b>	<b>77</b>
<b>5.2</b>	<b>Sugestões para futuros trabalhos.....</b>	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>79</b>
	<b>APÊNDICE A – TABELA DECISÃO DAS BATERIAS DE LÍTIO .....</b>	<b>90</b>
	<b>APÊNDICE X – TABELA DECISÃO DOS GERENCIADORES .....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO A – BALANÇO ELÈTRICO DE NPAs CLASSE GRAJAÚ .....</b>	<b>92</b>
	<b>ANEXO B – REGISTRO DE FUNCIONAMENTO DE GERADORES.....</b>	<b>93</b>
	<b>ANEXO C - BALANÇO ELÉTRICO DO NPA CLASSE GRAJAÚ.....</b>	<b>94</b>
	<b>ANEXO D – KILL CARD 004 CIC .....</b>	<b>95</b>
	<b>ANEXO E – KILL CARD 006 ESTAÇÃO RÁDIO.....</b>	<b>96</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Navios-Patrolha (NPas) classe Grajaú desempenham a função de proteger as fronteiras marítimas, assegurando a segurança em águas jurisdicionais ou internacionais ( BARROS, 2022). A confiabilidade dos sistemas elétricos a bordo desses navios é um requisito para a manutenção de operações contínuas e seguras (IVANOVA; DIMITROVA; FILIPOV, 2020). Avanços tecnológicos têm permitido a incorporação crescente de Fontes de Alimentação Ininterrupta (ou do inglês, *Uninterruptible Power Supply* (UPS)) em meios navais (AAMIR; KALWAR; MEKHILEF, 2016), estabelecendo-se como um recurso comum em frotas como a Marinha dos Estados Unidos (AMY, 2002).

As Fontes de Alimentação Ininterruptas fornecem energia estável e contribuem para a continuidade operacional e segurança de equipamentos (GUERRERO; HANG; UCEDA, 2008). Tais atributos são pertinentes no meio marítimo e militar, que necessitam de um fornecimento elétrico estável e confiável para manter suas operações (AMY, 2002). Interrupções ou falhas no sistema elétrico têm o potencial de afetar adversamente o cumprimento de missões e a segurança da tripulação (IVANOVA; DIMITROVA; FILIPOV, 2020)

A integração de baterias de íon-lítio em sistemas elétricos com as UPS representa um desenvolvimento notável em comparação com as baterias de ácido-chumbo reguladas por válvula (VRLA). As baterias de íon-lítio exibem vantagens como maior densidade energética, prolongada vida útil, reduzida necessidade de manutenção, e aprimorada eficiência energética com peso e volume reduzido (STAN *et al.*, 2014). A implementação dessa tecnologia tem o potencial de impactar positivamente a operacionalidade e eficácia de navios patrulha, particularmente no que se refere à capacidade de reserva energética e à segurança do sistema elétricos.

Esta pesquisa irá avaliar o potencial de implementação de Fontes de Alimentação Ininterrupta de alta capacidade em Navios-Patrolha da Classe "Grajaú". O estudo abordará diversos aspectos associados à instalação desses sistemas, incluindo manutenção, doutrina de controle de avarias (CAv), conformidade com normas nacionais e internacionais, técnicas e estratégias de gerenciamento de energia, e restrições espaciais. Outrossim será considerada uma proposta de dimensionamento e acomodação desses sistemas a bordo dos referidos navios.

Além disso, o estudo examinará os benefícios proporcionados pelas Fontes de Alimentação Ininterrupta, tais como a estabilização da tensão elétrica e proteção de

equipamentos (AAMIR; KALWAR; MEKHILEF 2016). Uma análise econômica será também incluída, abordando os custos e retornos associados à substituição de baterias chumbo-ácido e à redução do consumo de combustível pelos Grupos Geradores de Energia através de indicadores de investimento e retorno desenvolvidos por Autores em livros e artigos científicos. O estudo concluirá com uma avaliação da viabilidade da proposta e recomendações para trabalhos futuros.

## **1.1 Apresentação do Problema**

A exposição a fatores ambientais como condições climáticas adversas, intempéries, mares agitados e flutuações de temperatura tem o potencial de impactar adversamente os componentes elétricos e eletrônicos em Navios-Patrolha (NPas) (IVANOVA; DIMITROVA; FILIPOV, 2020). Além disso, durante operações de patrulha, essas embarcações podem enfrentar ameaças que têm a capacidade de comprometer ou interromper o fornecimento de energia. Essas considerações reforçam a necessidade de sistemas elétricos que sejam tanto robustos quanto resilientes.

Os meios navais modernos requerem um fornecimento de energia contínuo e estável para sustentar sistemas, tais como radares, dispositivos de navegação e consoles de comando (IVANOVA; DIMITROVA; FILIPOV, 2020). Interrupções inesperadas na geração de energia têm o potencial de resultar em complicações operacionais significativas, afetando não somente a saúde de equipamentos eletrônicos, mas também a segurança da tripulação e o cumprimento bem-sucedido da atividade fim (IVANOVA; DIMITROVA; FILIPOV, 2020).

Neste cenário, identifica-se a necessidade de abordar a ausência de uma Fonte de Alimentação Ininterrupta capaz de gerenciar de forma eficaz a carga elétrica da embarcação, com o objetivo de mitigar os riscos relacionados à interrupção do fornecimento de energia. O objetivo desta análise é elucidar as implicações dessa deficiência, avaliando a viabilidade e os benefícios de integrar uma Fonte de Alimentação Ininterrupta que possa suportar a carga elétrica total do navio. Além disso, procura-se realçar a relevância estratégica dessa solução para garantir a segurança operacional e a realização de missões em condições marítimas adversas.

## 1.2 Justificativa e Relevância

A modernização de ativos navais é uma demanda global que impacta tanto a competitividade econômica quanto militar segundo Hoyt (2007). Na esfera da engenharia elétrica, essa necessidade se destaca como um elemento importante, devido ao seu papel direto na manutenção da funcionalidade dos sistemas elétricos a bordo.

Em resposta à necessidade de um fornecimento de energia estável, marinhas proeminentes, como a Marinha dos Estados Unidos, têm direcionado esforços para garantir a funcionalidade contínua de seus navios, mesmo diante de interrupções no fornecimento de energia (DOERRY; CLAYTON, 2005).

Logo, a busca em soluções para garantir a continuidade e a segurança da tripulação em um possível teatro de operações torna-se constante. A manutenção contínua de equipamentos, como radares e sistemas de comunicação, sistema de armas e controle da propulsão e governo, são proporcionais a capacidade de resposta em situações emergenciais, como combate a incêndios ou alagamentos a bordo, por exemplo.

Estrategicamente, um sistema ou equipamento que utiliza uma UPS robusta e confiável não é apenas uma vantagem, mas uma necessidade para manter a integridade operacional (CORADDU *et al.*, 2022). Assim, considerando práticas e estudos internacionais, a implementação de UPS em navios se firma como uma medida estratégica para a Marinha do Brasil.

## 1.3 Objetivos

Os objetivos do trabalho foram divididos em duas partes primeiramente, a finalidade principal da pesquisa e, em sequência, explora os propósitos específicos, os quais se fragmentam nas etapas planejadas para a conquista do objetivo principal.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Investigar a viabilidade, eficiência e implementação das Fontes de Alimentação Ininterrupta com baterias de lítio em Navios-Patrolha Classe “Grajaú”, considerando aspectos técnicos, operacionais, normativos e financeiros para otimização do gerenciamento energético a bordo.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Como forma de atender o objetivo geral, as seguintes etapas devem ser realizadas para obtenção de todos os parâmetros de projeto.

- Analisar a atual estrutura de geração de energia e carga do Navio-Patrolha Classe “Grajaú”.
- Examinar as diferentes topologias de UPS, seus principais componentes e critérios de escolha, identificando o modelo mais adequado para uso marítimo.
- Desenvolver um entendimento sobre sistemas de gerenciamento de energia, através de atenuações de pico (*Peak Shaving*), otimização de eficiência com ênfase no sincronismo e estratégias de mitigação de riscos relacionadas a falhas na geração.
- Investigar as características, dimensionamento e configuração das baterias de íon-lítio como uma opção de reserva energética para a UPS, considerando critérios de escolha e compatibilidade.
- Avaliar normas e regulamentos, tanto internacionais como nacionais, relacionados ao uso e manutenção da UPS em ambientes marítimos.
- Analisar procedimentos de manutenção e armazenagem das baterias, enfatizando rotinas, cuidados e estratégias para prolongar a vida útil.
- Descrever e abordar os resultados potenciais da implementação da UPS em um ambiente naval, incluindo benefícios operacionais, impactos financeiros e desafios relacionados à instalação e operação em condições marítimas adversas.

## **2 METODOLOGIA**

Este trabalho fundamenta-se em uma pesquisa bibliográfica descritiva, aplicada e estratégica, almejando aprofundar o assunto pertinente a aplicação de UPS com baterias de íon de lítios para utilização em navios de patrulha, considerando uma variedade de Autores e estudos existentes na literatura científica e técnica.

### **2.1 Classificação da Pesquisa**

A pesquisa orientou-se por objetivos delineados no trabalho, empregando uma metodologia envolvendo uma revisão de literatura e a descrição de dados e análises comparativas relevantes, visando um aprofundamento do tema abordado.

#### **2.1.1 Quanto aos fins**

O desenvolvimento do trabalho teve como objetivo uma pesquisa descritiva e comparativa exploratória, através da exploração de referências bibliográficas, informações técnicas, estudos e análises considerando variáveis como eficiência, durabilidade, impactos ambientais, e demais aspectos técnicos e operacionais cruciais para a aplicação naval. Assim, foi possível aprofundar sobre os conceitos pertinentes a necessidade da implementação de UPS de baterias de íon lítio em navios patrulha.

#### **2.1.2 Quanto aos meios**

No que concerne aos métodos utilizados, a pesquisa adota estratégias tanto quantitativas quanto qualitativas. O ponto inicial para a análise do objeto reside em um problema específico de relevância para a Marinha do Brasil, conduzindo à uma resolução vinculada a essa questão.

### **2.2 Limitações do Método**

As limitações identificadas ao longo da pesquisa impactaram diversos aspectos, sobretudo no que se refere às dimensões no compartimento do navio Grajaú disponíveis para a acomodação das baterias. Uma barreira significativa encontrada foi a impossibilidade de

mensurar prática e empiricamente a eficiência energética do sistema, o que é crucial para determinar a viabilidade da implementação da UPS das baterias de lítio.

Outra problemática encontrada foi a escassez de fabricantes nacionais de baterias de íon de lítio e a ausência de pesquisas que abordam em profundidade sobre o tema. Esses fatores limitaram o acesso a dados e informações específicas, restringindo a capacidade de explorar totalmente as complexidades associadas ao uso de baterias de íon de lítio em navios patrulha.

A impossibilidade de verificar com precisão o sistema elétrico existente atualmente no Navio-Patrulha da classe Grajaú foi outro empecilho, além da falta de meios para verificar a eficiência da implementação das baterias, em um contexto prático e no ambiente real do navio, conduziu a conclusões parcialmente fundamentadas, em vez de afirmativas concretas a respeito do estudo.

Portanto, embora seja realizado um dimensionamento prévio do sistema, não é possível firmar conclusões completamente embasada acerca da eficiência energética da implementação das UPS *online*, nem confirmar absolutamente a viabilidade de implementar baterias de íon de lítio em navios patrulha, devido às referidas restrições e à falta de dados.

### **2.3 Coleta de dados e técnicas de pesquisa**

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram coletados dados e conduzidos testes de carga máxima, visando avaliar o consumo de potência diretamente no Navio-Patrulha Gurupá, situado na sede do 1º Distrito Naval no Rio de Janeiro, durante os dias 14, 15 e 16 de agosto de 2023.

O objetivo principal da coleta de dados era registrar a média de consumo dos geradores do navio enquanto em regime de viagem. Este registro possibilita, em etapas subsequentes da pesquisa, a realização de um comparativo aprofundado do consumo de potência e permite a verificação da operação do navio em conformidade com o projeto original.

Com intuito de fomentar a pesquisa foi utilizado recursos complementares de caráter bibliográfico e descritivo envolvendo consultas e pesquisas em revistas científicas como: IEEE, *Science Direct*, Normativas internacionais (“*International Maritime Dangerous Goods Code*”, “*United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods - Manual of Tests and Criteria*” e “*National Fire Protection Association*”) e normativas internas e da Marinha do Brasil (COMOPNAVIST 41-02, NORTAM-02, NORMAM-20, NORMAM-29, CAAML-1201, Lei nº 12.305, Resolução nº 401), para ao final desse trabalho concluirmos sobre os benefícios da implementação da UPS *online* em navios de patrulha classe “Grajaú”.

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Navio-Patrolha Classe “Grajaú”

Surgindo de um projeto do estaleiro Vosper-QAF Ltd de Singapura, a Classe "Grajaú" foi modificada e construída pelo Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro. O primeiro navio da série, nomeado Navio-Patrolha Grajaú - P 40, foi solicitado em setembro de 1990 e integrado à Marinha do Brasil em dezembro de 1993 (BARROS, 2022). As características técnicas abrangem um deslocamento de 200 toneladas, comprimento de 46,5 metros, boca de 7,5 metros e calado de 2,3 metros (FRASER, 2014).

A embarcação é movida por dois motores diesel MTU 16V 396 TB94, atingindo velocidades de até 26 nós e uma autonomia de 2.200 milhas náuticas a 12 nós. Criado com a finalidade de patrulhar as águas territoriais brasileiras, o navio é utilizado em tarefas de patrulha naval, controle e interdição de áreas marítimas, operando em regiões de interesse, como plataformas de petróleo, fiscalização na Zona Econômica Exclusiva e proteção da vida humana no mar (SAUNDERS; PHILPOTT, 2015).

Figura 1 - Navio-Patrolha Classe Grajaú



Fonte: Martini (2017)

#### 3.1.1 Geração de energia

Segundo informações do esquema elétrico do NPa Gurupá ( MARINHA DO BRASIL, 1988), ele está equipado com dois Grupos Diesel Gerador (GDG) localizados na praça de máquinas e um Diesel Gerador de Emergência (DGE) independente localizado no convés 1.

Ambos equipados com motores à combustão, modelo MTU R099TB52B e geradores modelo Equacional EGT1-250LQ-B35E.

Possuem potência máxima  $P_{Gerador} = 125kVA$  e fator de potência  $f_p = 0,8$ . Os Grupos Diesel Gerador produzem corrente alternada (CA), tensão de linha  $V_{Linha} = 440V$ , trifásico a 60Hz e estão em ligação Estrela-Estrela. Alimentam o barramento principal do Quadro Elétrico Principal (QEP), responsável por distribuir energia elétrica a todos os equipamentos a bordo e está localizado no centro de controle de máquinas (CCM). Neste, podem-se visualizar parâmetros como tensão, frequência e corrente. Essas informações podem ser consultadas no Livro de Controle de Avarias de cada navio.

O Quadro Elétrico de Emergência (QEE) é encarregado de fornecer alimentação aos equipamentos vitais para a navegação segura, incluindo sistemas de iluminação, sistema de governo e outros dispositivos cujo funcionamento é ininterrupto e indispensável. Sob condições regulares, os geradores que alimentam o barramento principal também suprem o barramento de emergência, que opera continuamente. No entanto, se um incidente interromper a alimentação do barramento principal, o DGE assegurará o fornecimento de energia de equipamentos de emergência.

Devido à segregação dos compartimentos dos GDGs e DGE, essa configuração minimiza o risco perda completa de todas as fontes geradoras do navio, o que pode ser definitivo para segurança do navio em situações adversas, como incêndios ou alagamento.

### 3.1.2 Análise de carga elétrica

Primeiramente, é importante reconhecer as distinções entre os diferentes equipamentos a bordo. Demandas elétricas encontradas em cozinha, ventilação mecânica, aquecimento, abastecimento de água, refrigeração, são considerados como conforto e habitabilidade. Alguns desses dispositivos podem operar tanto no barramento principal quanto no de emergência. A convenção (IMO, 2004) determina que uma única fonte geradora deva ser capaz de manter as operações e a segurança, garantindo também um nível básico de conforto.

A lista a seguir apresenta os regimes de consumo de energia, destacando como sua demanda energética em potência ativa varia conforme a situação empregada. Essas necessidades são analisadas e categorizadas para determinar quais equipamentos e geradores devem atuar em diferentes cenários de operação. Essas informações são denominadas “Análise de Carga Elétrica” ou “Balanço Elétrico”.

De acordo com o Balanço Elétrico de navios classe Grajaú (Anexo A), o navio prevê quatro regimes de consumo de energia descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Regimes de Operação dos NPas Classe Grajaú

TIPO DE OPERAÇÃO	CARGA EM KW
CRUZEIRO DE PATRULHA	85,4
CRUZEIRO NORMAL	84,3
FUNDEADO	81,04
PORTO	78,27
CARGA TOTAL INSTALADA	218,69

Fonte: Marinha do Brasil (1988)

Uma visita realizada ao Navio-Patrolha Gurupá na sede do 1º Distrito Naval, localizada no Rio de Janeiro, durante o período de três dias, de 14 a 16 de agosto de 2023. Constatou-se pelo registro de funcionamento dos geradores a média de consumo desse navio em regime de viagem  $P_{Viagem} \approx 33,5kW$  e corrente de linha  $I_{Viagem} = 55A$  (Anexo B). Além disso, foi realizado teste de carga máxima (Figura 2) e foi observado consumo em potência ativa  $P_{Teste} \approx 45kW$  e corrente de linha  $I_{Teste} = 70A$ .

Valor 47% menor que as especificações de projeto. É possível especular que tal divergência ocorre pela substituição dos equipamentos acompanhados ao avanço tecnológico em eficiência energética ao longo dos últimos 35 anos desde a concepção dessa classe de navio.

Figura 2 - Fotografia do QEP durante teste de carga máxima no NPa Gurupá



Fonte: O Autor.

## 3.2 Fontes de alimentação ininterrupta

### 3.2.1 Classificação

Conforme estabelecido pela norma nacional NBR15014 e pela norma internacional IEC62040-3, as UPSs são classificadas em três categorias com base em sua funcionalidade e, sobretudo, na maneira como fornecem energia à carga. Estas categorias são:

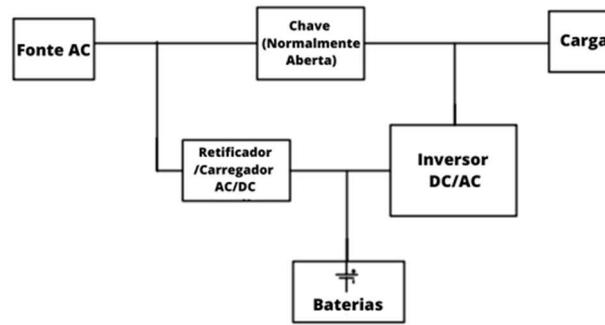
- **UPS *offline*:**

É uma topologia que não fornece energia de forma completamente ininterrupta. Esta característica é evidenciada por um breve intervalo de tempo, comumente denominado *delay*, que ocorre até que as baterias comecem a alimentar as cargas ( GUILLARDI JÚNIOR *et al.*, 2013).

Para Aamir *et al* (2016) a estrutura fundamental da UPS *offline* é composta por um carregador de bateria, uma chave estática e um inversor (Figura 3). Durante a operação padrão, a energia elétrica da rede alimenta a carga diretamente, sem tratamento adicional. O carregador de bateria mantém o banco de baterias carregado, enquanto a carga é alimentada pela linha CA principal. O inversor, neste contexto, permanece em modo de espera.

Em situações de falha ou interrupção da rede elétrica, a chave estática direciona a carga ao inversor, que por sua vez é alimentado pela bateria. O tempo de comutação da chave estática varia, mas é geralmente inferior a 10ms, o que é adequado para a maioria das cargas convencionais, como computadores ( AAMIR; KALWAR; MEKHILEF, 2016)

Apesar de suas vantagens, como custo acessível e design simplificado, a UPS *offline* apresenta limitações. A ausência de isolamento efetivo da carga e a falta de regulação de tensão são desafios intrínsecos a esta topologia ( AAMIR; KALWAR; MEKHILEF, 2016). Além disso, sua performance sob cargas não lineares é limitada. Geralmente, são indicados para cargas menores, com classificações em torno de 600 VA a 1 kVA, fornecendo no máximo 700 W de potência útil ( GONÇALVES, 2008).

Figura 3 - Diagrama de UPS do tipo *offline*

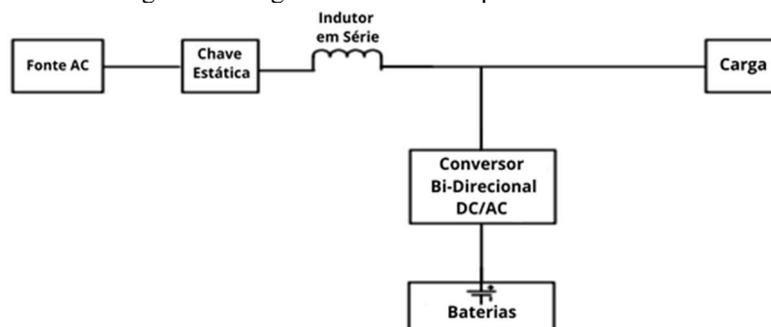
Fonte: Bekiarov e Emadi (2002)

- **UPS *Line-Interactive*:**

A estrutura fundamental da UPS *Line Interactive* inclui uma chave estática, um conversor/inversor bidirecional, um indutor em série e um banco de baterias (Figura 4). Durante a operação normal, a linha CA principal fornece energia para a carga e o conversor/inversor bidirecional é responsável por carregar a bateria. Em situações de falha na rede elétrica, a chave estática desconecta a carga da alimentação principal e o conversor/inversor bidirecional passa a fornecer energia para a carga a partir da bateria ( AAMIR; KALWAR; MEKHILEF, 2016)

Segundo Gonçalves (2008), importante destacar que, embora o sinal de entrada e saída seja o mesmo, o regulador não tem a capacidade de criar um novo sinal senoidal, mas apenas de regular sua tensão eficaz. Quando a tensão da rede desvia dos parâmetros pré-estabelecidos, o inversor começa a alimentar a chave de transferência com um sinal senoidal puro, utilizando a energia armazenada nas baterias.

As UPS *Line Interactive* são tipicamente mais caras que os *Off-line* e são comumente encontrados em potências que começam em 1 kVA, podendo alcançar potências mais elevadas e sistemas trifásicos (GONÇALVES, 2008).

Figura 4 - Diagrama de UPS do tipo *line-interactive*

Fonte: Bekiarov e Emadi (2002)

- **UPS *online*:**

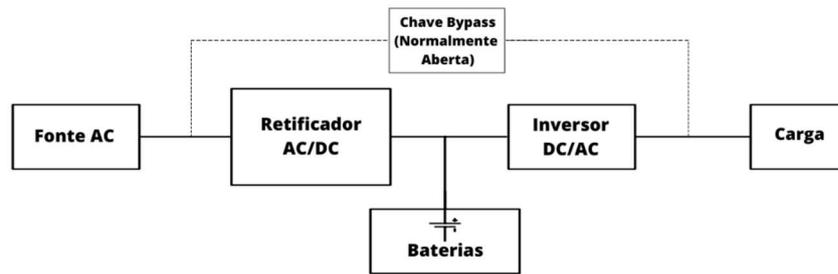
Chamado de *online* ou Dupla Conversão é uma configuração avançada que garante uma alimentação contínua e de alta qualidade para as cargas conectadas. Diferentemente de outras topologias, a UPS *online* realiza duas conversões principais: a primeira converte a energia de corrente alternada (CA) para corrente contínua (CC) e a segunda reconverte essa energia de CC para CA (AAMIR; KALWAR; MEKHILEF, 2016)

A estrutura fundamental deste tipo de UPS inclui um retificador, um inversor e uma chave estática. Durante a operação normal, o retificador é responsável por carregar as baterias e manter uma tensão DC constante (Figura 5). Simultaneamente, o inversor transforma essa tensão CC em uma tensão CA para alimentar a carga. Em caso de falha de energia, o inversor continua a fornecer energia à carga, utilizando a energia armazenada nas baterias, sem qualquer interrupção (AAMIR; KALWAR; MEKHILEF, 2016).

Uma característica distintiva da UPS *online* é que ele sempre fornece energia à carga através do inversor, independentemente da condição da rede elétrica. Isso significa que a carga é completamente isolada das variações e perturbações da rede, recebendo uma energia de alta qualidade com baixa distorção harmônica e tensão e frequência rigorosamente controladas (EMADI; NASIRI; BEKIAROV, 2017)

Além disso, em situações onde o inversor enfrenta problemas, como sobrecarga ou curto-circuito, uma chave de transferência ou chave *bypass* é acionada, garantindo a continuidade da alimentação da carga. Esta topologia é comumente utilizada em sistemas com potências superiores a 10 kVA, sendo ideal para alimentar cargas críticas devido à sua capacidade de proteger contra todos os tipos de distúrbios elétricos (EMADI; NASIRI; BEKIAROV, 2017)

No entanto, é importante notar que, devido às constantes conversões de energia, a UPS "*Online*" pode apresentar uma eficiência energética ligeiramente reduzida, levando a uma maior produção de calor e potencial desgaste dos componentes ao longo do tempo (EMADI; NASIRI; BEKIAROV, 2017)

Figura 5 - Diagrama de UPS do tipo *online* de dupla conversão

Fonte: Bekiarov e Emadi (2002)

### 3.2.2 Vantagens e Desvantagens

A Fonte de Alimentação Ininterrupta é um componente que pode garantir a continuidade das operações em navios, especialmente em condições adversas, como combate a incêndio ou engajando um contato hostil, de forma que garanta a continuidade das operações frente a uma eventual perda de geração.

A escolha da UPS adequada é, portanto, importante para garantir não apenas a continuidade das operações, mas também o grau de confiabilidade em diferentes situações. Emadi *et al* (2017) descreve as principais vantagens e desvantagens de cada topologia:

#### a) UPS *online*:

**Vantagens:** Esta topologia oferece uma tensão completamente independente da rede elétrica principal, garantindo uma alimentação constante e estável para as cargas críticas. A ausência de tempo de comutação entre a rede elétrica e a bateria é uma característica essencial, especialmente em situações de combate onde a estabilidade da alimentação é necessária.

**Desvantagens:** O rendimento pode ser ligeiramente reduzido devido às perdas de chaveamento nos semicondutores. Além disso, o custo inicial e de manutenção pode ser mais elevado em comparação com outras topologias.

#### b) UPS interativo (*Line Interactive*):

**Vantagens:** Esta topologia permite uma certa flexibilidade, pois, embora a frequência da tensão fornecida à carga dependa da rede elétrica, a amplitude da saída pode ser ajustada independentemente. Isso pode ser benéfico em situações onde há flutuações na rede elétrica principal, mas ainda é necessário manter uma alimentação estável. (GUILLARDI JÚNIOR *et al.*, 2013).

**Desvantagens:** O tempo de comutação potencialmente longo entre as fontes de energia pode ser uma limitação, especialmente em situações críticas onde a resposta rápida é essencial.

### c) UPS *offline*

**Vantagens:** Menor complexidade e, potencialmente, menor custo inicial em comparação com as topologias *online*. A capacidade de manter o inversor em um estado de prontidão e ativá-lo apenas quando necessário pode ser benéfico em termos de eficiência energética, como é possível observar na Tabela 1.

**Desvantagens:** Em situações onde a rede principal falha, a transição para a bateria pode não ser tão rápida quanto em uma UPS *online*, o que pode ser relevante em operações navais.

Tabela 1 - Distúrbios típicos e capacidade de compensação de cada UPS

Fenômeno	Tempo	Exemplo	IEC 62040-3 Topologia de UPS
Interrupção ( <i>blackout</i> )	> 10ms		Stand-by
Afundamento de tensão ( <i>sag</i> )	< 16ms		
Elevação de tensão ( <i>swell</i> )	< 16ms		Line Interactive
Subtensão ( <i>undervoltage</i> )	contínuo		
Sobretensão ( <i>overvoltage</i> )	contínuo		Online
Cintilação ( <i>flicker</i> )	esporádico		
Transitório ( <i>surge</i> )	< 4ms		
Variação de frequência	esporádico		
Distorção de alta frequência ( <i>burst</i> )	periódico		
Harmônicas	contínuo		

Fonte: Guillard Junior *et al* (2013)

### 3.2.3 Avaliação do módulo de potência

O módulo de potência é o componente responsável por hospedar os demais elementos: Inversor CC/CA, conversor CA/CC, Chave estática e *bypass*, que asseguram a continuidade da alimentação elétrica (ROBERTS; MCDOWALL, 2005). Para análise de dimensionamento nos Navios-Patrolha Classe Grajaú, o módulo de potência da UPS deve ser o mais leve, compacto, e capaz de fornecer a corrente de linha demandada pela carga, além de operar com entrada e saída trifásica de 440V CA e 60Hz.

### 3.3 Baterias

#### 3.3.1 Critérios de escolha da bateria

A capacidade de armazenamento de energia de uma bateria é um fator relevante, pois determina quanto tempo a UPS pode fornecer energia. No entanto, para os NPas, o espaço é um recurso limitado e a distribuição de peso é vital para a estabilidade da embarcação. Assim, a densidade de energia (quantidade de energia armazenada por unidade de volume ou massa) torna-se um parâmetro essencial.

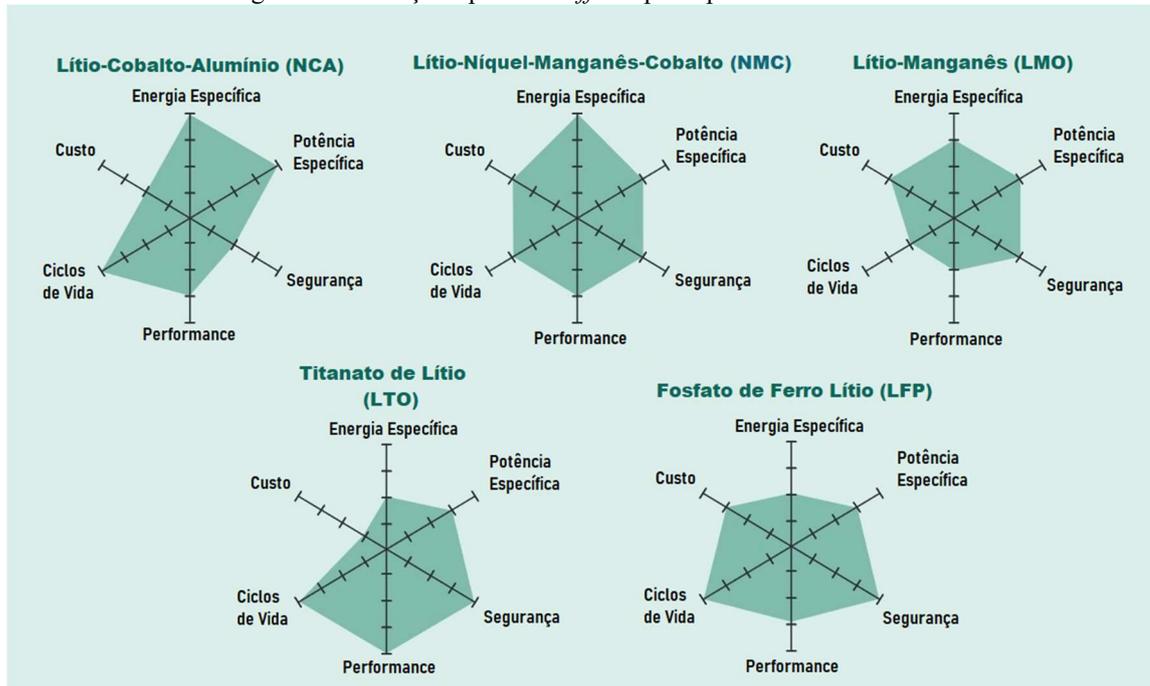
Atualmente, as baterias com alta densidade de energia, como as de lítio, podem oferecer uma capacidade significativa sem ocupar muito espaço ou adicionar peso excessivo ao navio, comparado as baterias chumbo-ácidas. (WANG; ZHANG, 2014)

Em navios, a segurança é outro critério relevante. As baterias devem operar de forma confiável sob uma variedade de condições, sem risco de falhas catastróficas. Fatores como temperatura de operação, riscos de sobreaquecimento e potencial para liberação de gases ou explosões são críticos (LU *et al.*, 2013).

Em situações de incêndio ou alagamento a bordo, a resposta da bateria pode ter implicações diretas na segurança da tripulação e na integridade do navio. Portanto, a escolha de células de bateria que possuem estabilidade química e mecânica é essencial (ARORA; WHITE; DOYLE, 1998).

A longevidade de uma bateria, ou seja, o número de ciclos completos de carga e descarga que ela pode suportar antes de sua capacidade diminuir significativamente é um indicador de sua durabilidade (FAN; TAN, 2006).

Em um ambiente marítimo, onde a logística e os custos associados à substituição frequente de equipamentos apresentam esforços significativos, baterias com extensos ciclos de vida são mais adequadas. A longevidade desses componentes está intrinsecamente ligada aos custos de manutenção e, conseqüentemente, à viabilidade econômica do sistema em sua totalidade.

Figura 6 - Ilustração tipo *Tradeoff* das principais baterias de LítioFonte: Dinger *et al* (2010)

A Figura 6 mostra como a escolha de baterias é uma tarefa complexa que exige uma avaliação cuidadosa de vários fatores. A seleção ideal envolve a consideração de *trade-offs*, ou seja, onde aprimorar um aspecto pode resultar em comprometimentos em outro. Enquanto o Quadro 2 mostra um comparativo numérico entre os tipos de bateria mais comuns do mercado.

Quadro 2 - Nomenclatura química das baterias e suas abreviações.

Tipo de bateria de íon de lítio	Voltagem	Energia específica	Ciclos de Vida	Temperatura Máxima de operação	Custo R\$/kWh
Bateria de chumbo-ácido VRLA	2V	10-40Wh/kg	250-500	50°C	R\$800
Óxido de Lítio Cobalto (LiCoO <sub>2</sub> )	3.60V	150-200Wh/kg	500-1000	150°C	R\$ 1600
Óxido de Lítio Manganês (LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	3.70V	100-150Wh/kg	300-700	250°C	R\$ 2250
Óxido de Lítio Níquel Manganês Cobalto (LiNiMnCoO <sub>2</sub> )	3.60V	150-220Wh/kg	1000-2000	210°C	R\$2100
Fosfato de Ferro Lítio (LiFePO <sub>4</sub> )	3.20V	90-120Wh/kg	2000+	270°C	R\$2900
Óxido de Lítio Níquel Cobalto Alumínio (LiNiCoAlO <sub>2</sub> )	3.60V	200-260Wh/kg	500	150°C	R\$1750
Titanato de Lítio	2.40V	50-80Wh/kg	3000-7000	500°C	R\$5025

Fonte: *Battery University* (2021)

### 3.3.2 Composição da bateria de lítio

Conforme definido por Rheinfeld (2019) baterias de Íon de Lítio são formadas por quatro principais componentes:

- **Cátodo:**

Um eletrodo positivo onde os elétrons são extraídos de átomos de lítio para formar íons durante o carregamento, como por exemplo o óxido de cobalto e lítio ( $\text{LiCoO}_2$ ), que pode se tornar altamente inflamável quando estiver acima de  $150^\circ\text{C}$ .

- **Ânodo:**

Um eletrodo negativo que os fornece íons de lítio ao cátodo durante a descarga do dispositivo, usando comumente grafite devido à sua elevada densidade energética e capacidade de ciclo inicial baixa, fatores que prolongam a durabilidade da bateria.

- **Eletrólitos:**

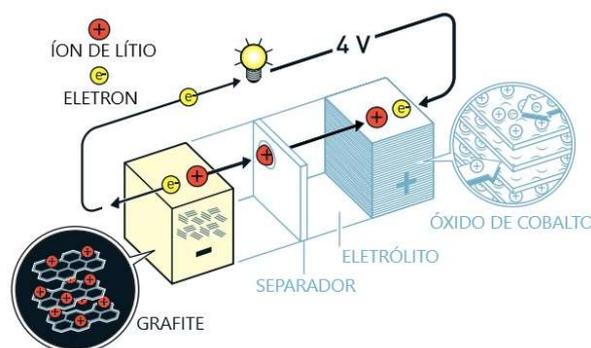
Uma mistura de sal de lítio e solventes orgânicos facilitam o transporte de íons de lítio, apresentando risco de incêndio se a temperatura interna da célula for elevada.

- **Separador:**

Feito de polímeros, evita curtos-circuitos internos e permite a condução iônica, apresentando um mecanismo de segurança para interromper a conexão anodo-cátodo se o eletrólito superaquece, prevenindo ignição e possíveis consequências catastróficas como a fuga térmica.

A Figura 7 ilustra como é a composição as Baterias de Íon de Lítio pelos quatro principais componentes: cátodo, eletrólito, ânodo e separador. Quando adequadamente fabricados, esses componentes garantem uma voltagem fixa na bateria, estabelecida pela sua composição química, enquanto previnem falhas que poderiam ocasionar um incêndio.

Figura 7 - Exemplo de bateria de Óxido de Lítio Cobalto



Fonte: The Royal Swedish Academy of Sciences (2019)

### 3.3.3 Riscos associados

Segundo Radcliffe *et al* (2022), baterias de lítio frequentemente estão associadas a acidentes que envolvem incêndios de grande escala, inclusive no meio marítimo (Figura 8). Tais acidentes são resultados das reações químicas em cadeia devido a falhas mecânicas como quedas, perfurações, vibrações ou impactos.

Ademais, falhas elétricas, como curtos-circuitos (externos e internos), sobrecargas e descargas excessivas, assim como falhas térmicas, caracterizadas pela instabilidade térmica, choque térmico, exposição a temperaturas extremas e contato com chamas.

Figura 8 - Navio Felicity Ace durante incêndio que envolveu baterias de lítio



Fonte: Marinha Portuguesa (2022)

Ainda de acordo com Radcliffe *et al* (2019), após o comprometimento das baterias, os eventos subsequentes podem superar a simples geração de incêndio, abrangendo outros acidentes, tais como:

- **Realimentação térmica:** Do inglês, "*Thermal Runaway*" refere-se a um cenário onde reações exotérmicas na bateria, causadas por danos ou operação fora dos parâmetros estabelecidos, perdem a estabilidade química e térmica, produzindo um ciclo de retroalimentação de geração de calor. Quando a capacidade de dissipação do sistema é superada, incêndios ou explosões podem surgir, a variar com a composição química da bateria.

- **Vazamento de eletrólitos:** Os eletrólitos, normalmente compostos por sais de lítio e solventes orgânicos diversificados, podem ter baixos pontos de ebulição, como no caso do formiato de metila, propiciando a evaporação do eletrólito e acumulação de pressão, podendo provocar rupturas na bateria. A consequente dispersão de eletrólitos vaporizados pode liberar

gases potencialmente tóxicos e explosivos, cujos riscos à saúde e segurança são dependentes da toxicidade e inflamabilidade do solvente empregado.

- **Gases tóxicos:** Os incêndios em baterias de lítio liberam uma variedade de compostos perigosos, tais como CO<sub>2</sub>, CO e HF, todos resultantes da combustão dos componentes da bateria. Esses gases podem provocar desde asfixia e irritação até danos ao sistema nervoso e queimaduras severas. A composição química dos componentes da bateria determina diretamente os produtos formados na combustão, elevando ou não o potencial de risco de incêndio, a escolha da bateria está intimamente ligada a capacidade de mitigar esses potenciais riscos.

### 3.3.4 Normas Internacionais

O transporte marítimo de baterias de lítio, especialmente aquelas de grande capacidade, requer uma aderência rigorosa às normas internacionais de segurança e integridade tanto da carga quanto da embarcação e da tripulação.

A Organização Marítima Internacional (IMO) é a entidade que estabelece as diretrizes globais para o transporte de mercadorias perigosas por via marítima, incluindo baterias de lítio, através do “*International Maritime Dangerous Goods Code*” (IMDG).

Conforme estabelecido pelo (IMO, 2022) os procedimentos de segurança para o transporte marítimo de produtos perigosos, incluindo baterias de lítio, estipulam testes prévios em conformidade com “*United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria*” (2019), que podem ser observados no Anexo C.

Além disso, consta que equipamentos contendo baterias de lítio devem ser acondicionados em embalagens externas robustas, de forma a prevenir seu funcionamento acidental ou a ocorrência de curto-circuito durante o transporte.

O código estabelece que cada bateria deve ser projetada de forma a evitar rupturas violentas sob condições padrão de transporte. Além disso, o código torna obrigatória a implementação de medidas para prevenir o fluxo de corrente inverso, e recomendando a utilização de dispositivos como diodos e fusíveis.

Os testes exigidos nas baterias antes do transporte comercial de acordo com Conformidade em águas territoriais

No contexto brasileiro, a NORMAM-29, emitida pela Diretoria de Portos e Costas, estabelece requisitos para o transporte e armazenamento em mar aberto de cargas perigosas,

incluindo baterias de lítio, com o propósito de assegurar a segurança das pessoas, a integridade da embarcação e minimizar os riscos ao meio ambiente.

Esta norma é aplicável a embarcações de bandeira brasileira operando em mar aberto e a embarcações estrangeiras quando operando em portos brasileiros.

A NORMAM-29, em seu Capítulo 1, detalha a aplicação, regulamentação e definições pertinentes ao transporte de cargas perigosas embaladas, sendo aplicável a embarcações de bandeira brasileira e a embarcações de bandeira estrangeira. A regulamentação aplicável, conforme descrito na NORMAM-29 inclui a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS) e o IMDG.

Ao comparar as normativas brasileiras com as internacionais, percebe-se que o Brasil busca alinhar suas práticas e regulamentações locais com os padrões internacionais, garantindo uma navegação segura e a integridade do meio ambiente marinho.

É importante que, ao se considerar a implementação de UPS com baterias de lítio em navios, os equipamentos estejam alinhados com as normativas vigentes, garantindo que todas as precauções, treinamentos e infraestruturas necessárias estejam em vigor para mitigar os riscos associados.

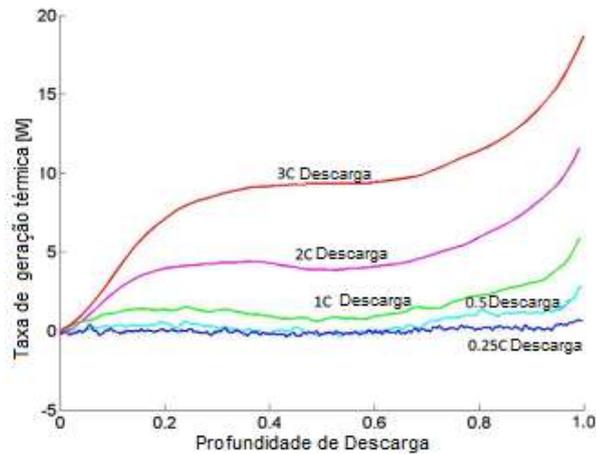
### **3.4 Análise térmica da bateria de lítio**

Neste tópico, serão discutidas, com base em artigos científicos e pesquisas empíricas, estratégias eficazes para assegurar o equilíbrio térmico de baterias de lítio. O foco será em identificar as condições ótimas de operação que contribuam para um armazenamento seguro, eficientemente resfriado e com minimização de riscos associados a temperatura.

Conforme apontado por Galatro *et al.* (2020), a dissipação térmica em uma bateria de lítio é influenciada pela temperatura ambiente, a profundidade de descarga e a magnitude da corrente.

Complementando o trabalho de Galatro *et al.* (2020), o estudo de Chen *et al.* (2014) empregou técnicas de Calorimetria por Taxa de Aceleração (ARC) e Calorimetria por Condução Isotérmica (IHC) para quantificar a taxa de geração térmica das baterias. O foco foi avaliar o comportamento térmico das baterias em relação a diferentes valores de três variáveis: temperatura, corrente e profundidade de descarga

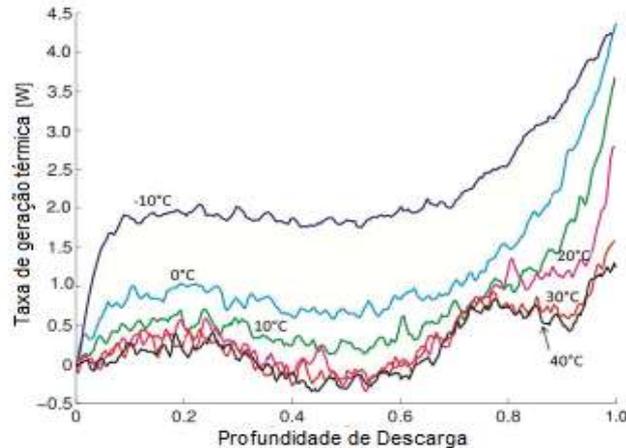
Gráfico 1 - Energia térmica produzida em magnitude variada de corrente a 20°C



Fonte: Chen, Unsworth e Li (2014)

Os dados apresentados nos Gráficos 1 e 2 indicam que, quando operando sob uma temperatura ambiente de 20°C e uma corrente máxima definida como 1C (sendo C a corrente nominal definida pelo fabricante), as baterias exibem taxas de dissipação térmica quase nulas e consistentes entre as unidades analisadas.

Gráfico 2 - Energia térmica produzida em corrente nominal (1C) entre -10 e 40°C.



Fonte: Chen, Unsworth e Li (2014)

Chen *et al.* (2014) salienta que a energia térmica gerada é atribuída a dois fenômenos principais: alteração de entropia e dissipação resistiva. O primeiro está relacionado às reações eletroquímicas que ocorrem no movimento dos elétrons entre o ânodo e o cátodo, resultando em uma alteração de entropia que pode ser percebida como variação de temperatura. O segundo está associado aos efeitos resistivos da bateria e dos materiais a ela relacionados, como fios, conectores, etc.

Tabela 2 - Dados de geração térmica em temperaturas e correntes variadas.

Temp. [°C]	Taxa de Descarga de Corrente				
	0,25C	0,5C	1C	2C	3C
-10	0 to 2.09	0 to 5.29	0 to 10.82	0 to 24.71	—
0	-0.33 to 2.05	0 to 5.20	0 to 10.21	0 to 19.52	0 to 29.93
10	-0.24 to 1.43	0 to 4.37	0 to 8.87	0 to 16.72	0 to 24.79
20	-0.44 to 0.87	0 to 3.32	0 to 4.92	0 to 13.78	0 to 4.92
30	-0.46 to 0.85	-0.33 to 1.86	0 to 4.56	0 to 10.39	0 to 16.48
40	-0.43 to 0.71	-0.44 to 1.62	0 to 3.70	0 to 7.88	0 to 14.21

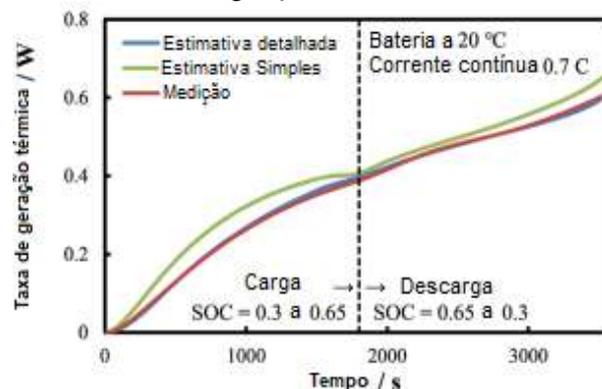
Fonte: Chen, Unsworth e Li (2014)

Em conclusão, o estudo de Chen *et al.* (2014) apresenta a Tabela 2, que abrange diversas faixas de temperatura de operação e magnitudes de corrente, destacando as zonas de menor dissipação térmica para baterias de lítio.

Os dados indicam que o intervalo de temperatura ambiente associado à menor geração de calor se situa entre 20 e 30°C. Este comportamento térmico favorável se mantém relativamente constante para correntes variando entre 0,25C e 1C e é estável para uma Profundidade de Descarga (DOD) de até 80%.

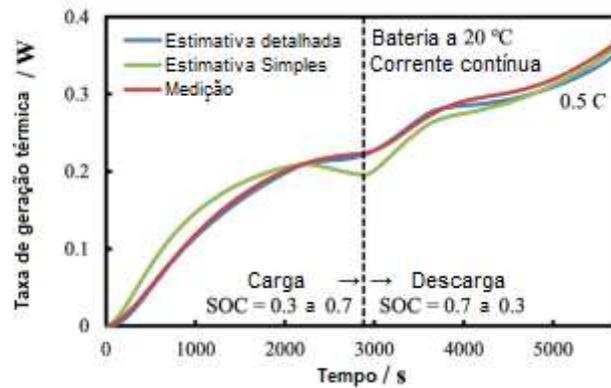
Outra análise comparativa conduzida por Hirayama *et al.* (2019) destaca diferentes medições da energia térmica gerada (Gráficos 3, 4 e 5), derivadas de três metodologias distintas: uma estimativa simples utilizando a Lei de Ohm, uma avaliação mais detalhada através do cálculo de sobretensão transitória e variação de entropia, e uma medição realizada com um microcalorímetro de alta precisão.

Gráfico 3 - Estimativas de geração térmica a 20°C com corrente 0,7C



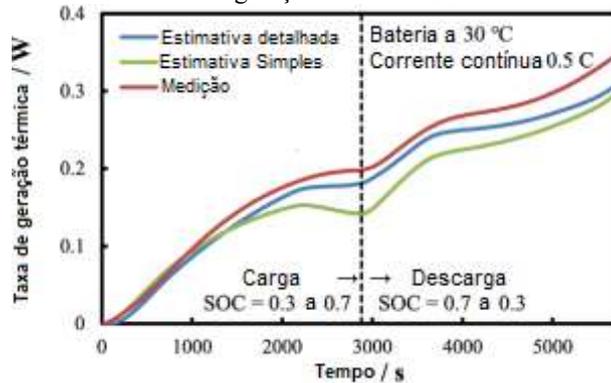
Fonte: Inui, Hirayama e Tanaka (2019)

Gráfico 4 - Estimativas de geração térmica a 20°C com corrente 0,5C



Fonte: Inui, Hirayama e Tanaka (2019)

Gráfico 5 - Estimativas de geração térmica a 30°C com corrente 0,5C



Fonte: Inui, Hirayama e Tanaka (2019)

As curvas experimentais exibem pouca variação nas medições, especialmente quando fornecem uma corrente de descarga contínua entre as temperaturas de 20 e 30°C e para valores de corrente de 0,5C e 0,7C.

Embora ambas as pesquisas, Chen *et al.* (2014) e Hirayama *et al.* (2019), cheguem a conclusões similares, o estudo de Hirayama *et al.* (2019) vai além ao comparar as medições obtidas por calorimetria com estimativas de dissipação térmica calculadas pela Lei de Ohm.

O experimento conclui que uma abordagem simples e puramente resistiva para estimar a transmissão de calor em baterias de lítio é suficientemente precisa para avaliar sua produção térmica, desde que operem com uma corrente contínua não superior a 1C e em intervalo de temperatura entre 20 e 30°C.

Portanto, o dimensionamento da UPS neste projeto será realizado em conformidade com as conclusões dessas pesquisas, visando operar dentro dos parâmetros de segurança e previsibilidade estabelecidos. Dessa forma, torna-se viável estimar o valor nominal da dissipação térmica  $Q_b$  da bancada de baterias utilizando unicamente a resistência interna da bateria e a corrente pela Equação 1 (HALLIDAY, 2012 p. 146):

$$Q_b = RI^2 \times N_{Baterias} \quad (1)$$

Onde,

$R$  = Resistência Interna da Célula de Bateria

$I$  = Corrente fornecida pela Bateria

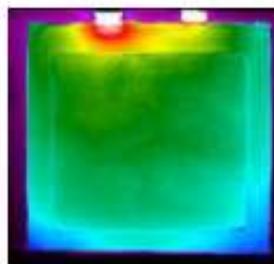
### 3.4.1 Considerações sobre o controle de temperatura

Nesta seção do estudo, o foco será trazer um breve entendimento sobre as melhores práticas para dissipação do calor gerado durante a operação de baterias de lítio. A análise será embasada em estudos que abordam não apenas a quantidade de calor produzido, mas também sua distribuição espacial. O objetivo é planejar estratégias eficazes para o controle da temperatura, seja por meio da troca térmica natural com o ambiente ou, se necessário, através do uso de sistemas de refrigeração.

O simples experimento de Bazinski e Wang (2013) para analisar a geração e distribuição de calor em baterias prismáticas, estabeleceu dois regimes distintos de descarga e profundidade de descarga. O primeiro regime, caracterizado por uma taxa de descarga constante de 3C, revelou através de imagens térmicas que os polos de condução positivo e negativo são os locais iniciais de variação térmica durante os ciclos de carga e descarga. Notavelmente, o polo positivo apresentou maior concentração de resistência e geração de calor em comparação com o polo negativo.

Após alcançar uma profundidade de descarga de 100% a uma taxa de 3C, foi observado que a energia térmica gerada teve um impacto limitado na temperatura do núcleo da bateria, conforme ilustrado na Figura 9. Em contraste, ao empregar uma taxa de descarga contínua de 8C e atingir uma profundidade de descarga de apenas 11%, a energia térmica dissipada pelo polo positivo propagou-se até o centro da bateria.

Figura 9 - Resposta térmica da bateria LiFePO4 durante descarga contínua a 3C



Fonte: Bazinski e Wang (2013)

Com base nesta análise, conclui-se que as baterias dimensionadas para esta proposta deverão operar, predominantemente, com correntes que não excedam 1C. Esta abordagem permite concentrar esforços no resfriamento do polo positivo da bateria, região onde a temperatura predomina e se irradia para o restante da unidade.

Portanto, o dimensionamento de um sistema de ventilação e exaustão torna-se viável, desde que a temperatura ambiente não exceda 30°C. Conforme Steinberg (2019) aponta, a dissipação eficaz de energia térmica em dispositivos eletrônicos exige a adoção de um método de dissipação que seja tanto econômico quanto eficiente.

A ventilação forçada de ar é uma abordagem mais simples e econômica para o controle da temperatura. No entanto, essa técnica é sensível a variáveis como temperatura ambiente, densidade do ar, calor específico e vazão do ar.

Vale ressaltar que a ventilação forçada de ar não atua resfriando as baterias, mas sim na melhor dissipação do calor para o ambiente, logo a temperatura do local das baterias deve obrigatoriamente permanecer na faixa desejada.

Para determinar a vazão de ar necessária para a dissipação eficaz da energia térmica gerada pelas baterias, será empregada a formulação geral para o fluxo de ar, conforme descrita na Equação 2. (STEINBERG, 1992 p.157).

$$V_{ar} = \frac{Q_b}{\rho \times C_p \times (T_{Operação} - T_{Ambiente})} \quad (2)$$

Onde,

$V_{Ar}$  = Vazão de Ar

$\rho$  = Densidade do ar

$C_p$  = Calor específico do Ar

$T_{Operação}$  = Temperatura desejada da Bateria

$T_{Ambiente}$  = Temperatura do Ambiente

### 3.4.2 Dimensionamento de um banco de baterias

O dimensionamento correto do banco de baterias é definitivo para assegurar que a UPS atenda às demandas operacionais requisitadas.

Primeiramente, é necessário definir parâmetros como potência de operação, corrente de linha, tensão de linha e fator de potência do gerador para avaliar a quantidade de baterias

requerida. Para realizar este cálculo, a Equação 3 é empregada, conforme descrito por Fitzgerald (2014):

$$P_{Requerida} = V_{Linha} \times I_{Requerida} \times f_p \times \sqrt{3} \quad (3)$$

Onde,

$P_{Requerida}$  = Potência requerida

$V_{Linha}$  = Tensão de Linha

$I_{Requerida}$  = Corrente de Linha

$f_p$  = Fator de Potência

Segundo Toll (2017), a determinação do número total de baterias a serem empregadas começa com a análise da configuração em série. Para tal, é preciso igualar a tensão total do banco de baterias à tensão exigida pelo módulo de potência, conforme estabelecido pela Equação 4.

$$V_{Módulo} = N_{Série} \times V_{Bateria} \quad (4)$$

Onde,

$V_{Módulo}$  = Tensão requerida pelo módulo

$N_{Série}$  = Número de baterias em série

$V_{Bateria}$  = Tensão nominal da bateria

Para finalizar, a cálculo do número de baterias em paralelo requer que o banco de baterias seja capaz de fornecer tanto a corrente de linha necessária quanto o tempo de autonomia desejado. As equações 5 e 6 são utilizadas para calcular o número de baterias em paralelo conforme descrito por Toll (2017).

$$N_{Paralelo} = \frac{I_{Requerida}}{I_{Bateria}} \quad (5)$$

$$t_{Autonomia} = \frac{N_{Paralelo} \times I_{Bateria}}{I_{Requerida}} \quad (6)$$

Onde,

$N_{Paralelo}$  = Número de Baterias em Paralelo

$I_{Requerida}$  = Corrente nominal requerida do navio

$I_{Bateria}$  = Corrente nominal da bateria

$t_{Autonomia}$  = Tempo de autonomia do banco de baterias em horas

### 3.5 Gerenciamento de energia

#### 3.5.1 Sistema de gerenciamento de bateria

O Sistema de Gerenciamento de Bateria, também chamado de BMS (Sigla para *Battery Management System*) é um sistema eletrônico que desempenha o papel de monitoramento, controle e otimização individual de cada bateria.

O BMS é amplamente empregado para aprimorar o desempenho de baterias, implementando medidas de segurança como a desconexão dos módulos do sistema em caso de sobrecarga, desequilíbrio de carga e descarga, aumento irregular de temperatura e corrente em cada célula.

Esse gerenciamento estende a vida útil da bateria e reduz custos de manutenção, pois garante que cada célula opere dentro da faixa nominal exigida pelo fabricante. ( GABBAR; OTHMAN; ABDUSSAMI, 2021). Segundo Gabbar (2021) existem três topologias principais de BMS disponíveis no mercado: centralizada, distribuída e modular:

- **Centralizada:** Nesta topologia, uma única unidade de controle e células de bateria são agrupadas através de múltiplos fios. É a mais econômica, precisa e simples, mas a menos expansível das três.

- **Distribuída:** Cada unidade de controle é dedicada a cada célula de bateria por um único cabo de comunicação. Embora seja a mais cara, é a mais fácil de instalar e oferece a montagem mais limpa entre as três.

- **Modular:** Múltiplos números de unidades de controle lidam com uma célula de bateria particular, mas as unidades de controle estão interconectadas. Este tipo inclui mais hardware e esforço de programação, fazendo uma confrontação entre as características e problemas das outras duas topologias.

### 3.5.2 Qualidade de energia

A conclusão de Mutarraf *et al* (2018) é a de que baterias integradas a uma UPS *online* podem ser estrategicamente utilizadas para balancear oscilações na demanda e permitindo ajuste contínuo na frequência entregue. Tal ajuste se mostra mais viável economicamente quando comparado à necessidade de modernizar ou substituir as estruturas existentes de navios ou grupos geradores, por exemplo.

Essa configuração permite a manutenção da estabilidade da tensão especialmente em situações de queda súbita, e não só garante a continuidade do fornecimento de energia, mas também otimiza a gestão de recursos energéticos, assegurando mais confiança e segurança na geração de energia, especialmente para sistemas isolados como em um navio.

Quando um único gerador alimenta uma UPS *Online* e este venha a sofrer uma falha, seguida de uma reinicialização sem sincronização adequada com o sinal de saída, a UPS é capaz de se ajustar à diferença de fase entre eles. Isso ocorre porque, conforme explicado por Emadi *et al* (2017, p. 46), todo o sinal é retificado antes de ser convertido em corrente alternada (CA) para alimentar a carga do navio.

No entanto, é recomendável manter o sincronismo entre o sinal de entrada e saída da UPS para garantir uma transição suave e sem interrupções em casos de falha da UPS ou necessidade do acionamento da chave *bypass*.

Em situações onde há operação com múltiplos geradores, a ausência de sincronismo pode levar a interferências, seja construtiva ou destrutiva, que modificam substancialmente o sinal de entrada. Essa alteração pode resultar em desvios da faixa de operação da Fonte de Alimentação Ininterrupta, comprometendo sua capacidade de retificar adequadamente a tensão de saída, conforme apontado por Chapman (2013, p. 228).

### 3.5.3 “Peak Shaving”

Segundo Sigrist *et al.* (2013), o conceito de *Peak Shaving*, também conhecido como amortecimento de pico, refere-se à habilidade de atenuar flutuações de carga em um sistema elétrico, especialmente durante períodos curtos de elevadas correntes, como ocorre na partida de motores.

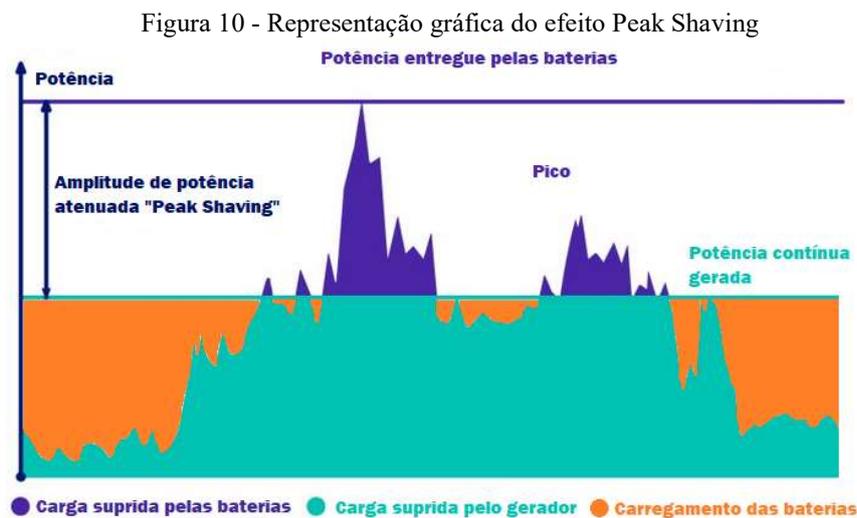
O intuito é atenuar flutuações que possam afetar a integridade dos equipamentos, acionar mecanismos de proteção de circuito como disjuntores e fusíveis, e diminuir a sobrecarga em grupos geradores. Em sistemas elétricos isolados, como aqueles que utilizam geradores

trifásicos em embarcações, a adoção dessa estratégia pode ser benéfica para a manutenção da estabilidade e eficiência do sistema.

Esta característica é presente na utilização de UPS quando a demanda de energia pode variar significativamente e picos inesperados podem ocorrer durante partida de equipamentos. Usualmente são corrigidos pelos reguladores de tensão (AVR, do inglês *Automatic Voltage Regulator*) dos geradores trifásicos. (ZHANG; QIU, 2019). Incurrendo em oscilações de tensão, distorções harmônicas, desbalanceamento de tensão podendo levar a parada ou dano de equipamentos (CHAPMAN, 2013). Entre as vantagens citadas por Sigrist *et al* (2013) incluem:

- Longevidade dos geradores
- Eficiência energética
- Estabilidade do sistema
- Redução de custos operacionais ligados a manutenção e consumo

O *Peak Shaving* (Figura 10) permite que o Diesel-Gerador opere consistentemente dentro de sua faixa de maior eficiência energética. Isso viabiliza uma economia de energia mais efetiva ao utilizar a energia armazenada durante períodos de alta demanda e recarregar o sistema durante intervalos de demanda reduzida.



Fonte: Guzmán (2022)

### 3.5.4 Substituição de baterias chumbo-ácido

As baterias de chumbo-ácido têm sido muito utilizadas na indústria naval (SALKIND, 1987), especialmente em aplicações que demandam autonomia e altas taxas de corrente. Essas aplicações incluem, por exemplo, a inicialização de motores à combustão e o fornecimento de energia para variados sistemas e equipamentos embarcados.

Inicialmente o NPa Classe Grajaú foi projetado com baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula (VRLA) de 12V e 200Ah para partida de motores tanto da propulsão quanto de grupos geradores, além de alimentar um gama de equipamentos em uma ocasional falta dos grupos geradores conforme apresentado na Quadro 3.

Quadro 3 - Cargas 24V em corrente contínua alimentadas por baterias Chumbo-Ácido

24 V.C.C	
Equipamento	Potencia Nominal (kW)
ILUMINAÇÃO	0,45
LUZES DE NAVEGAÇÃO	0,36
SISTEMA DE DETECÇÃO DE INCÊNDIO	0,12
AGULHA MAGNÉTICA	0,024
UNIDADE DE ALARME DE AGULHA GIROSCÓPICA	0,06
CONSOLE DO PASSADIÇO/SISTEMA DE GOVERNO	0,12
SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAÇÃO	0,58
MCA'S	0,1
PAINEL DE CAV	0,2
CONTROLADORES DA MÁQUINA DO LEME	0,08
PCL/QEP	0,12
TRANSCEPTOR HF	0,2
FONOCLAMA	0,12
APITO	0,262
<b>TOTAL</b>	<b>2,796</b>

Fonte: Marinha do Brasil (1988)

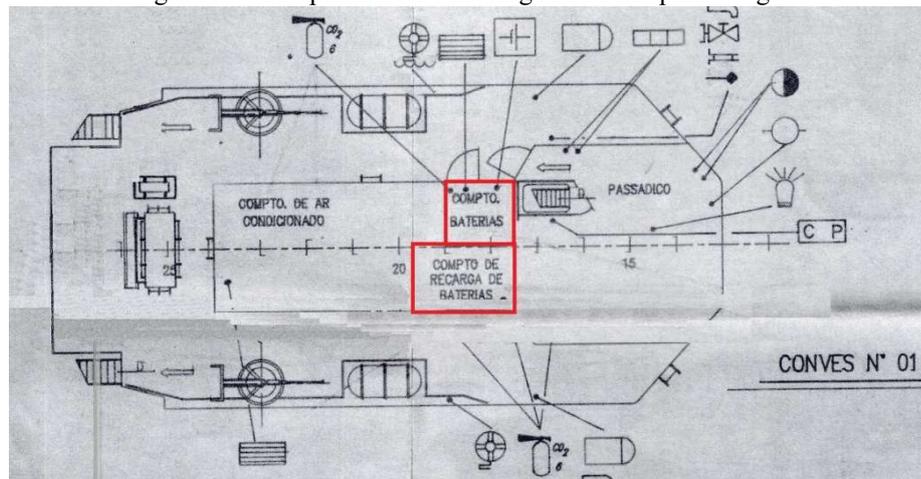
O navio está equipado com um total de 10 baterias VRLA, dispostas em 5 pares, cada um responsável por fornecer uma tensão de 24V para diferentes equipamentos a bordo. A distribuição desses pares é realizada da seguinte maneira, presente no Esquema Elétrico do Livro do NPa Gurupá (1998):

- Um par de baterias em série alimenta os dispositivos de uso geral.
- Um par de baterias em série é dedicado ao sistema de comunicação.
- Um par de baterias em série é responsável por iniciar o MCP1 e o MCA1.
- Um par de baterias em série fornece energia para a partida do MCP2 e do MCA2.
- Um par de baterias em série é utilizado para a partida do DGE.

As baterias destinadas aos dispositivos de uso geral e ao sistema de comunicação (Figura 11) são mantidas em estado de carga de flutuação por duas bancadas retificadoras. Já as baterias encarregadas da partida dos motores a combustão são mantidas carregadas tanto pelos retificadores quanto pelos alternadores dos MCPs, também em regime de carga de flutuação.

A sugestão de substituir as baterias de chumbo-ácido existentes por baterias de lítio, integradas a uma UPS de alta capacidade, exige uma análise mais abrangente do que a simples comparação de capacidades nominais. O primeiro fator a ser avaliado envolve a segurança e eficiência das baterias em condições variáveis de temperatura, corrente e profundidade de descarga, bem como sua capacidade de gerenciamento de picos de corrente exigidos por esses equipamentos (FERREIRA, 2021).

Figura 11 - Compartimento de recarga e baterias para uso geral



Fonte: Marinha do Brasil (1988)

Além disso, é necessária uma avaliação econômica, que envolve não apenas o custo inicial de aquisição das baterias de lítio e do sistema UPS, mas também a relação custo-benefício ao longo de toda a vida útil do sistema (FERREIRA, 2021). As Baterias de lítio, apesar de apresentarem um custo inicial mais elevado, possuem uma vida útil significativamente maior e uma eficiência energética superior em comparação com as baterias de chumbo-ácido (STAN *et al*, 2014).

Foi utilizado um alicate amperímetro para a coleta de dados de corrente elétrica de partida em diversos equipamentos a bordo do Navio-Patrolha Gurupá. Os equipamentos em questão incluíam a partida dos MCPs, alimentados por baterias do tipo VRLA (Ácido-Regulado por Válvula) e motores elétricos associados a bombas e compressores alimentados pelo GDG.

O maior valor de corrente foi observado durante a partida dos MCP modelo MTU 16V396TB94, que é realizado por um motor de arranque de 15 kW alimentado pelas baterias VRLA de 24 V. A medição indicou o valor de pulso de 792 A em uma das fases do motor de arranque, resultando em um pulso de corrente total de 1584A por motor (conforme demonstrado na Figura 12).

Com base nesses dados, estabelece-se que qualquer UPS destinado a substituir as baterias VRLA existentes deve ser capaz de fornecer uma corrente mínima de 1584A para ser considerado adequado. Neste estudo será considerado o conversor CA-CC do compartimento de baterias compatível com esta operação, contudo, para assegurar a viabilidade dessa compatibilidade, é necessário a realização de um estudo mais rigoroso, complementado por uma coleta de dados sistemática.

Figura 12 - Fotografia da medição realizada durante partida do MCP de Bombordo



Fonte: O Autor

### 3.6 Gestão ambiental

A Marinha do Brasil participa ativamente de ações e iniciativas voltadas ao combate ao lixo no mar e uma das principais iniciativas é o "Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar" (PNCLM), lançado pelo Ministério do Meio Ambiente (VEIGA, 2019). A Marinha, através da Diretoria de Portos e Costas (DPC), é uma das entidades envolvidas na elaboração, implementação e monitoramento desse plano através da NORTAM-02 e NORMAM 401.

O PNCLM (BRASIL, 2019) tem como objetivo principal mitigar os impactos do lixo marinho, especialmente os plásticos, nas águas brasileiras. Ele engloba ações de prevenção, monitoramento, mitigação e cooperação, envolvendo diversos setores da sociedade e órgãos governamentais. (NÁUTICA, 2019).

### 3.6.1 Leis e Normas

A Resolução CONAMA nº 401/2008 estabelece que baterias, acumuladores, que contenham chumbo, cádmio, mercúrio, níquel de uso automotivo e industrial, e demais componentes devem ser entregues pelos usuários aos estabelecimentos onde foram adquiridas ou à rede de assistência técnica do fabricante. Estes devem seguir procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final. (BRASIL, 2008)

Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, Art. 33, capítulo 3, seção 2, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que aponta as diretrizes para o gerenciamento de descarte e destinação final de resíduos sólidos que inclui as baterias de lítio:

São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

[...];

II - Pilhas e baterias;

III - pneus;

IV - Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes. (BRASIL, 2010)

De acordo com Castro (2019), A questão do descarte de baterias, incluindo as de lítio, em navios de guerra é complexa e está intrinsecamente ligada à interpretação da imunidade soberana concedida aos navios representantes de Estado. Ele destaca que, apesar das diretrizes estabelecidas em convenções como a *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods* (2019) e a IMDG (2022), ainda há debates sobre a extensão dessa imunidade para os navios de guerra.

Almeida e Claudia (2022, p. 734) reforçam que o consenso atual sugere que os navios de guerra, enquanto representantes de estado, mantêm sua imunidade de se respeitar ou não as convenções ambientais, porém devem, na medida do possível, cumprir com os tratados e respeitar pelo menos as normas ambientais dos Estados de Bandeira sob os quais representam.

A Marinha do Brasil, é exemplo em suas atividades rotineiras e em cooperação com outras entidades, realiza ações de limpeza de praias, monitoramento de áreas marítimas e campanhas de conscientização sobre a importância de evitar o descarte inadequado de resíduos no mar. (MARINHA, 2021).

## 4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Dimensionamento para NPas classe Grajaú

#### 4.1.1 Avaliação da topologia da UPS

Analisado as diferentes topologias de UPS disponíveis e levando em consideração a sua adequação para uso em navios patrulha, a topologia UPS *Online* evidencia ser a mais adequada devido a sua capacidade de fornecer uma alimentação constante e estável, juntamente com a ausência de tempo de comutação.

Além disso possibilita operar sem obrigatoriedade de sincronismo de fase entre os grupos geradores (KRZYSZTOF, 2018). Embora possa ter um custo inicial e de manutenção mais elevado, o retorno em termos de segurança operacional e proteção do equipamento a bordo poderia justificar o investimento.

#### 4.1.2 Configuração de consumo

Neste subitem, serão definidos os critérios utilizados para determinar a autonomia da bancada de baterias e a carga de trabalho nominal para delineamento da UPS.

Para o cálculo da autonomia da bancada de baterias, foi adotado, a título de segurança, a potência em regime de "Cruzeiro de Patrulha"  $P_{Patrulha} = 85,4kW$  por ser o regime de maior consumo e resposta do navio.

Quanto ao tempo de autonomia, utilizou-se como critério a média horária de duração de um exercício de "Guarnecer Postos de Combate" somado a dois exercícios de combate a incêndio e combate a alagamento de duração  $t_{Autonomia} \approx 1 Hora$ .

Esses valores foram obtidos pelo Autor durante consultas presenciais ao Navio-Patrulha Gurupá, realizadas nos dias 14 a 16 de agosto de 2023, e refletem com precisão as demandas de operação do sistema elétrico durante situações críticas de combate e preparação da tripulação.

Para obter o valor de corrente nominal requerida nesse regime de operação, considera-se a equação 7 (FITZGERALD, 2014).

$$P_{Patrolha} = V_{Linha} \times I_{Patrolha} \times f_p \times \sqrt{3} \quad (3)$$

Onde,

$$P_{Patrolha} = 85,4kW$$

$$V_{Linha} = 440V$$

$$f_p = 0,8$$

$$I_{Patrolha} = \text{Corrente de nominal em Cruzeiro de Patrolha}$$

Logo,

$$I_{Patrolha} \approx 140A$$

Assim, o dimensionamento do banco de baterias será conduzido com o objetivo de assegurar uma autonomia suficiente para atender ao consumo máximo estimado durante o "Cruzeiro de Patrolha". Este dimensionamento também será adequado para regimes de menor demanda energética e fornecerá a energia necessária para sustentar fornecimento ininterrupto em situações de combate, manobras e controle de avarias.

#### 4.1.3 Escolha da bateria

O principal objetivo do uso da UPS é garantir uma autonomia operacional desejada, a qual está intrinsecamente ligada à capacidade, quantidade e composição química da bateria em uso. Para fundamentar a seleção da bateria mais adequada, realizou-se uma análise objetiva e imparcial, empregando uma Tabela de decisão como instrumento de avaliação.

Neste contexto, as baterias de lítio mais relevantes no mercado foram avaliadas seguindo uma ordem de prioridade previamente definida: segurança, densidade energética, ciclo de vida e custo. Os detalhes das células avaliadas podem ser consultados no Apêndice A.

A bateria de composição LiFePO<sub>4</sub> destacou-se como uma opção adequada em virtude de sua alta densidade de energia aliada à estabilidade térmica, química e mecânica. Essas características minimizam consideravelmente os riscos associados a incêndios e explosões quando comparadas a outros tipos de baterias de lítio ( OHNESEIT *et al.*, 2023).

Entre os modelos de baterias avaliados, a CATL-LEP54H4K1 foi selecionada devido ao seu equilíbrio entre densidade energética, longevidade do ciclo de vida e, notavelmente, altos

padrões de segurança. Essas características foram corroboradas pelo *Material Safety Datasheet* (2018), documento fornecido pela fabricante CATL.

As baterias de LiFePo<sub>4</sub> atendem a todos os testes previsto no *Manual of Tests and Criteria Part III, subsection 38.3* (2019) emitido pela ONU e do IMDG, além de não apresentarem risco de explosão ou incêndio em testes de sobrecarga, curto-circuito, queda, perfuração, imersão em solução salina, esmagamento e sobreaquecimento. Como é possível observar nas figuras 13, 14 e 15

Figura 13 - Teste de Perfuração



Fonte: GWL Group (2020)

Figura 14 - Teste de sobrecarga



Fonte: GWL Group (2020)

Figura 15 - Teste de sobreaquecimento



Fonte: GWL Group (2020)

A capacidade de 202Ah foi escolhida visando minimizar o número de baterias utilizadas e incluir um fator de segurança de aproximadamente 45% para acomodar possíveis perdas do sistema e permitir que a bateria atenda ao tempo de autonomia proposto sem realizar altas

profundidades de descarga. Além de ser capaz de suportar altas correntes de partidas, sem comprometer sua estabilidade química e térmica.

Quadro 4 - Dados gerais da célula de bateria CATL LEP54H4K1

Modelo	CATL LEP54H4K1
Corrente de Descarga Nominal (1C)	202A
Tensão Nominal	3,2V
Tensão Máxima	3,8V
Tensão Mínima	2,5V
Temperatura de Operação	-20 a 60°C
Peso	3,84Kg
Volume	201 X 174 X 57 mm
Impedância	0,14mΩ
Ciclo de Vida	> 3500 Ciclos
Densidade Energética	168 Wh/Kg

Fonte: Longfei *et al* (2023)

Figura 16 - Bateria CATL LEP54H4K1



Fonte: Evlithium (2023)

#### 4.1.4 Escolha da topologia do UPS

Analisadas as diferentes topologias de UPS disponíveis e levando em consideração a sua adequação para uso em navios patrulha a topologia UPS *online* evidencia ser a mais adequada devido a sua capacidade de fornecer uma alimentação constante e estável, juntamente com eventual ausência de sincronismo entre a fonte e a saída do conversor CA-CC em caso de perda ou falha de geradores (TASHAKOR *et al.*, 2016). Embora possa ter um custo inicial e de manutenção mais elevado, o retorno em termos de segurança operacional e proteção do equipamento a bordo poderia justificar o investimento.

#### 4.1.5 Escolha do módulo de potência do UPS

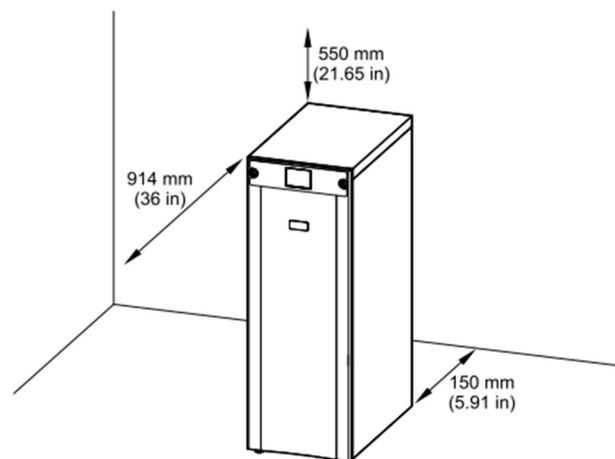
O módulo de potência *Galaxy VS Marine* de 150kW foi selecionado como modelo para este projeto, dada a sua capacidade de atender à demanda energética especificada para este projeto e sua adequação para ambientes navais.

Ele opera com uma entrada e saída de 440V trifásico a 60Hz, podendo fornecer até 197A nominais e uma corrente de pulso que pode chegar a 1970A. Essa especificação são compatíveis com as necessidades de corrente durante o regime de Cruzeiro de Patrulha, acomodam flutuações de demanda na partida de equipamentos elétricos e permite a substituição das baterias de chumbo-ácido para a partida de todos os motores a combustão.

A tensão mínima requisitada pelo banco de baterias de acordo com as especificações do fabricante é  $V_{Módulo} = 480V$ . Uma característica relevante é a permissão de uma distância máxima de 200m entre o módulo e o banco de baterias, proporcionando flexibilidade na instalação em diferentes pontos do navio (SCHNEIDER ELECTRIC, 2023).

As especificações físicas do *Galaxy VS Marine* incluem um peso de 290kg e dimensões de 1485mm x 521mm x 847mm. Estes parâmetros serão importantes para determinar a melhor acomodação desse equipamento, influenciando a distribuição de carga e a ocupação de espaço no navio.

Figura 17 - Vista isométrica do Módulo de Potência com distâncias de segurança



**Fonte:** Schneider Electric (2023)

#### 4.1.6 Configuração do banco de baterias

Em posse dos dados da potência nominal  $P_{Patrulha} = 85,4kW$ , da corrente nominal  $I_{Patrulha} \approx 140A$ , da tensão requisitada pelo módulo de potência  $V_{Módulo} = 480V$ , do tempo de autonomia do equipamento  $t_{Autonomia} \approx 1 \text{ Hora}$  e dos dados da célula escolhida, será possível dimensionar o tamanho do banco de baterias. Para determinar a quantidade de baterias em série serão usadas as equações 4, 5 e 6 (TOLL, 2018).

$$V_{Módulo} = N_{Série} \times V_{Bateria} \quad (4)$$

$$N_{Paralelo} = \frac{I_{Patrulha}}{I_{Bateria}} \quad (5)$$

$$t_{Autonomia} = \frac{N_{Paralelo} \times I_{Bateria}}{I_{Patrulha}} \quad (6)$$

Substituindo,

$$N_{Série} = 150 \text{ Baterias}$$

$$N_{Paralelo} = 1$$

$$t_{Autonomia} \approx 1 \text{ Hora e } 26 \text{ Minutos}$$

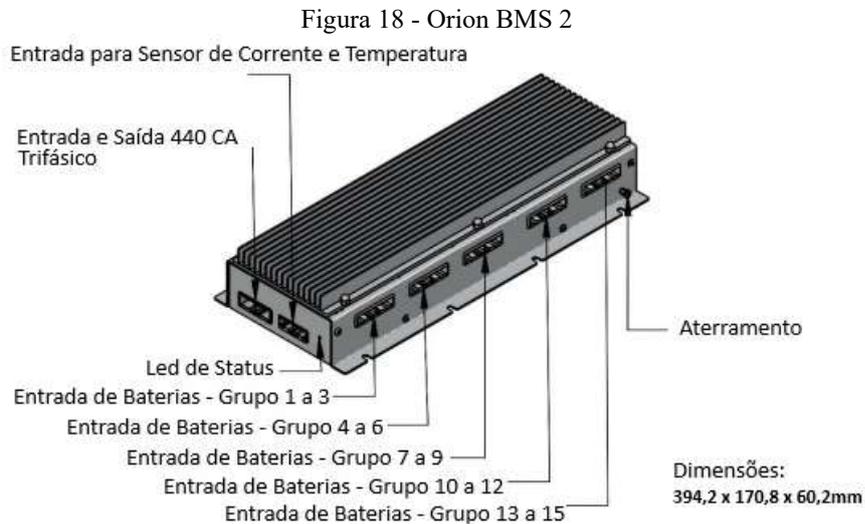
Portanto, o banco de baterias será composto por 150 células, totalizando um peso aproximado de 576kg (150 células x 3,84 kg/célula) e volume de 299,02L (150 células x 1,993 L/célula).

#### 4.1.7 Escolha do gerenciador de baterias

A seleção do gerenciador de baterias foi conduzida mediante uma pesquisa de mercado, na qual os parâmetros cruciais foram comparados para assegurar a adequação ao UPS. Uma Tabela comparativa, disponível no Apêndice B, oferece uma visão detalhada dessas comparações e fundamenta a decisão tomada.

O BMS selecionado para análise e aplicação neste contexto é o Orion BMS 2, desenvolvido pela *Ewert Energy Systems* (Figura 18), devido a simplicidade da configuração centralizada, precisão do monitoramento de temperatura, carga e descarga, tamanho reduzido e adequação a grandes quantidades de baterias (EWERT ENERGY SYSTEMS, 2018),

atendendo as especificações de voltagem necessidade de gerenciamento e proteção de 150 baterias de íon de lítio simultaneamente, sendo adequado para uso em aplicações estacionárias, como é o caso da UPS de alta capacidade. (GARCHE; JOSSEN, 2000).

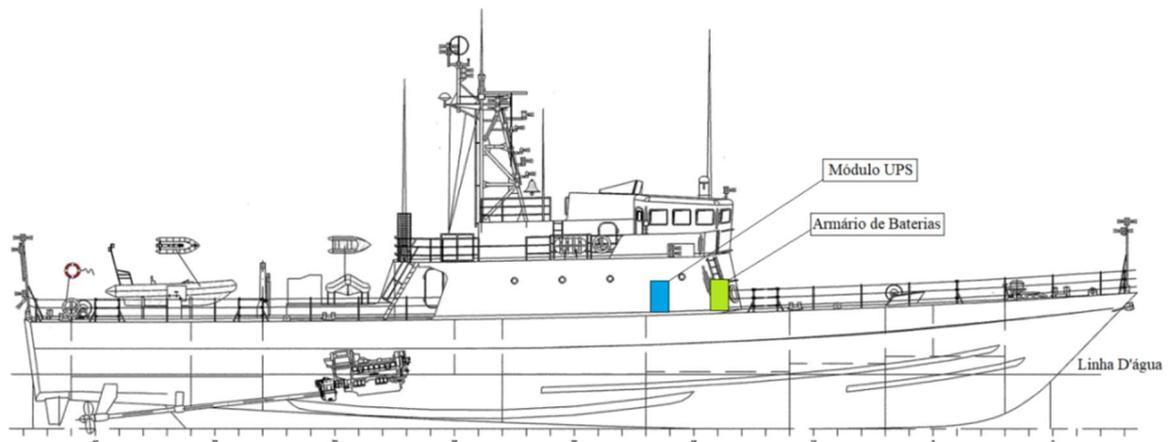


## 4.2 Acomodação a bordo

A determinação do local adequado para a acomodação do banco de baterias e do Módulo de Potência é uma tarefa que exige uma análise fatores como: espaço disponível, minimização da incidência de vibrações, ventilação de gases que possam ser liberados, temperatura do compartimento e influência do peso sobre a estabilidade do navio ( WU, 2015). Este estudo não se aprofundará nos cálculos de estabilidade do navio, deixando espaço para pesquisas futuras nesse aspecto.

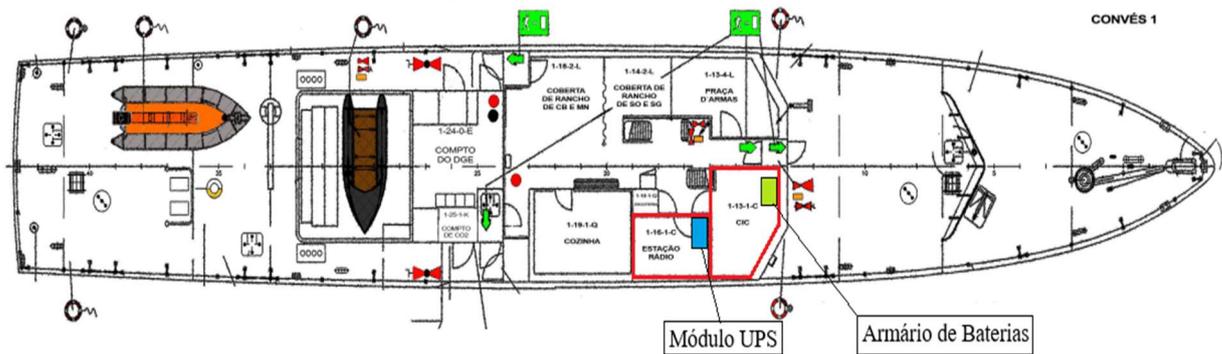
A "Estação Rádio" e o "CIC", situados no convés 1, oferecem as condições necessárias para a instalação, fundamentando-se em características específicas que serão detalhadas a seguir e podem ser observadas nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 - Vista lateral do NPa Classe Grajaú



Fonte: Marinha do Brasil (1988)

Figura 20 - Vista superior do convés 1



Fonte: Marinha do Brasil (1988)

#### 4.2.1 Centro de Informações de Combate

O Centro de Informação de Combate (CIC) está localizado no compartimento 1-13-1-C e dispõe de uma vigia natural para ventilação e duas saídas de ar-condicionado no compartimento, o que contribui para o resfriamento equipamento que não deve operar acima de 50°C (LONGFEI *et al.*, 2023)

Conforme o *KillCard* N° 04 de procedimentos de Controle de Avarias (CAv) (Anexo D) o Centro de Informações de Combate (CIC) é classificado com um risco de incêndio de nível Médio. O local está situado próximo a tomada de incêndio, adjacente à enfermaria, e possui um extintor portátil de 6Kgs de CO2 conforme previsto na dotação de CAv (MARINHA DO BRASIL, 2009) e em Ordem Interna.

A presença destes dispositivos de segurança é ideal em caso de falha no gerenciamento de carga das baterias, que pode aumentar consideravelmente a temperatura até o ponto de fulgor dos materiais adjacentes acarretando em incidentes térmicos (WANG *et al.*, 2019)

#### 4.2.2 Estação Rádio

A Estação Rádio está localizada no compartimento 1-16-1-C e dispõe de dois elementos naturais para ventilação, denominados vigias, e duas saídas de ar-condicionado, características favorecem a manutenção de uma temperatura controlada no compartimento. A importância da ventilação e resfriamento é evidenciada pela necessidade de manter o equipamento em sua faixa de temperatura previsto no manual de operação do fabricante (SCHNEIDER ELECTRIC, 2023).

Conforme o *KillCard* N°06 de procedimentos de CAV (Anexo E), a estação rádio é classificada com um risco de incêndio de nível "Médio". Para mitigar potenciais incidentes, o compartimento está equipado com dois recursos de combate a incêndio: um extintor portátil de CO<sub>2</sub> de 6Kg e uma bola extintora de pó químico seco (PQS) de 1,4Kg, que é ativada automaticamente quando em contato direto com o fogo (SANTOS; SCHWENGBER, 2018).

O compartimento de operação do módulo da UPS conta com espaço disponível, ventilação e acima da linha d'água, para assegurar a operacionalidade conjunta com o Diesel Gerador de Emergência (DGE) em casos de alagamento.

#### 4.2.3 Disposição do armário de baterias

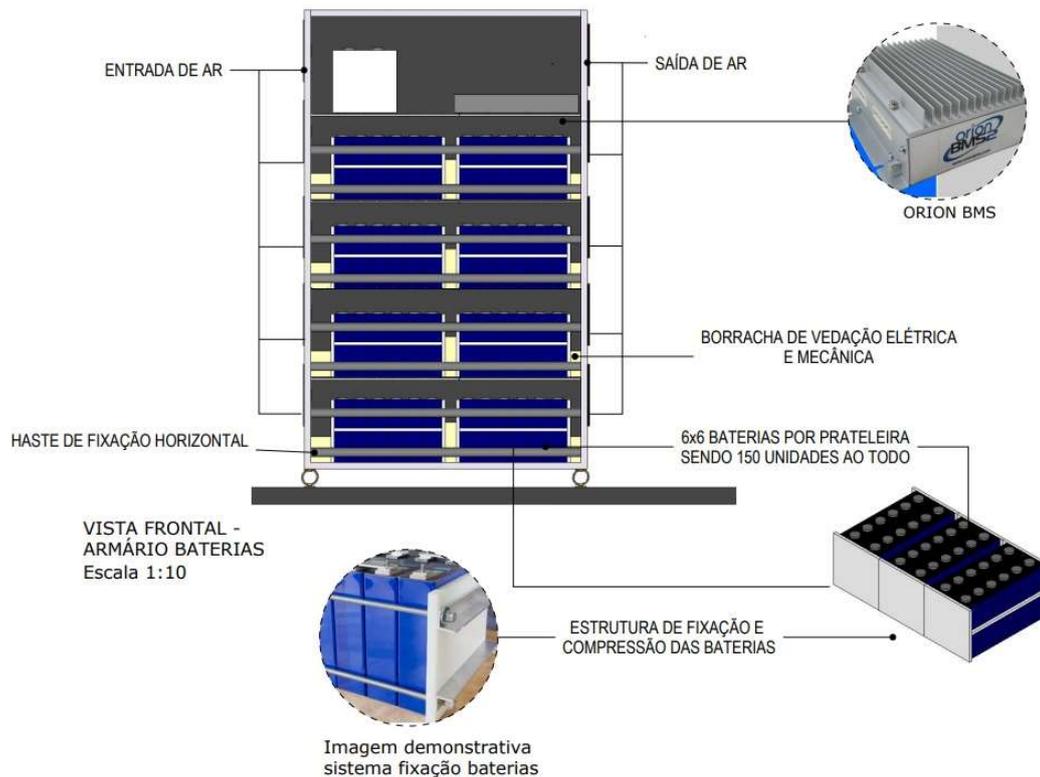
Quanto à disposição física das baterias, estas serão alocadas em um armário com dimensões aproximadas de 1470 x 900 x 700mm, conforme a modelagem dimensionada no *software "SketchUP"* (Figuras 21 e 22).

As 150 baterias serão organizadas em um armário com portas em vidro laminado, para facilitar a inspeção visual e sob um piso isolante elétrico de borracha com isoladores de vibração helicoidais.

As baterias serão dispostas em cinco prateleiras horizontais fabricadas em gradil, um design que favorece a dissipação eficiente da energia térmica gerada e passagem de condutores para ligação entre elas. A organização das baterias será feita em seis grupos de seis unidades cada, distribuídos em quatro das cinco prateleiras. A quinta prateleira alojará o grupo de baterias remanescente, além do gerenciador das baterias.

Cada agrupamento de baterias será ancorado por uma estrutura de fixação fabricada a partir de material isolante. Esta estrutura utilizará uma barra roscada capaz de fornecer uma força de compressão de 300 kgf, limitando assim o movimento e as vibrações das baterias, em conformidade com as especificações fornecidas pelo fabricante.

Figura 21 - Vista frontal do Quadro de baterias

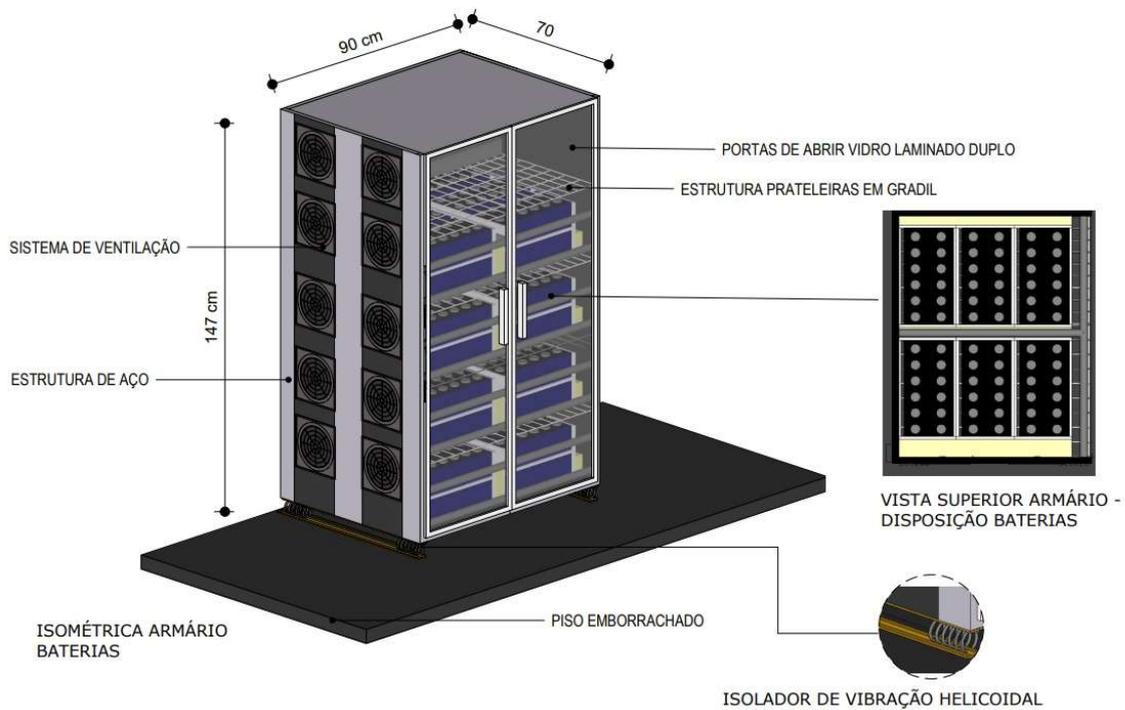


Fonte: Ewert Energy Systems (2018) e Dexter (2021)

Para assegurar uma ventilação apropriada, o armário de baterias será dotado de 24 ventoinhas, sendo 12 delas destinadas à ventilação forçada e as outras 12 à extração do ar. O sistema de ventilação mantém as baterias à temperatura ambiente, regulada pelo ar-condicionado do navio, que é capaz de manter a faixa de 20 a 30°C.

Além da estrutura de fixação, uma camada de borracha semi-flexível será posicionada entre os grupos de baterias. Este material tem como objetivo amortecer esforços mecânicos e vibrações, proporcionando uma camada adicional de proteção e estabilidade para as baterias.

Figura 22 - Vista lateral e superior do Quadro de baterias



Fonte: O Autor

A configuração proposta foi elaborada para maximizar o aproveitamento do espaço disponível. A geometria prismática das baterias contribui para essa eficiência espacial, permitindo uma organização mais compacta. Além disso, o design facilita procedimentos de manutenção e monitoramento, possibilitando a remoção individual de células em caso de falha ou avaria, sem comprometer a integridade do sistema como um todo.

### 4.3 Diretrizes de operação

#### 4.3.1 Controle de temperatura

Para controle seguro da temperatura das baterias e demais componentes do UPS, deve-se considerar a faixa de temperatura de maior segurança e melhor eficiência do equipamento.

Conforme experimentado por Chen *et al*, (2014) e Hirayama *et al*, (2019), o uso de baterias prismáticas de LiFePO<sub>4</sub> em determinadas faixas de temperatura e descarga, pode apresentar grandes variações de energia dissipada no ambiente em relação ao cálculo estimado.

Considerando que a corrente nominal de descarga das baterias CATL LEP54H4K1 é 1C, a corrente em carga máxima do navio será:

$$\frac{140}{202} \approx 0,7 I_C$$

É oportuno considerar também as correntes em carga máxima coletadas a bordo (Figura 2) e em regime de viagem (Anexo B), pois trata-se de parâmetros reais, atuais e de consumo médio dos navios dessa classe:

$$\frac{70}{202} \approx 0,34 I_C$$

$$\frac{40}{202} \approx 0,2 I_C$$

Ambas as faixas de corrente previstas nos regimes de operação do navio estão situadas dentro dos limites que minimizam a produção de calor, conforme especificado pelo fabricante, logo, a principal consideração para a operação otimizada do sistema de baterias é manter as unidades dentro de uma faixa de temperatura que favoreça a estabilidade térmica, a eficiência energética e a mínima dissipação de energia térmica para o ambiente.

Adicionalmente, para maximizar a vida útil e a eficiência da bateria, recomenda-se operar-las com uma profundidade de descarga de até 80% da sua capacidade máxima. Esta prática está alinhada com as diretrizes do fabricante e contribui para a preservação da saúde da bateria a longo prazo.

Uma vez dentro desses parâmetros conforme ilustrado por Hirayama *et al*, (2019), é possível calcular a energia dissipada para o ambiente  $Q_b$  da bancada utilizando a Lei de Ohm 1 (HALLIDAY, 2012 p. 146) :

$$\begin{aligned} Q_b &= RI^2 \times N_{Baterias} & (1) \\ Q_b &= 0,14m\Omega \times 140^2 \times 150 \\ Q_b &\approx 412 \text{ Watts} \end{aligned}$$

A estimativa de potência térmica dissipada total  $Q_t$  será a soma de  $Q_b$  e  $Q_g$ , sendo  $Q_g$  a dissipação do gerenciador de baterias Orion BMS2, que de acordo com a configuração adotada no manual técnico, será  $Q_g = 60W$ :

$$Q_t = Q_b + Q_g \quad (7)$$

$$Q_t \approx 472 \text{ Watts}$$

O valor obtido permite que se possa estimar a capacidade de vazão de ar das ventoinhas de ventilação e extração ar do armário de baterias através da equação 2 (STEINBERG, 1992 p. 163). Considerando como temperatura de operação máxima 30°C e temperatura média do ar dentro dos navios com sistema de ar condicionado em 23°C:

$$V_{ar} = \frac{Q_t}{\rho \times C_p \times (T_{Operação} - T_{Ambiente})} \quad (2)$$

Substituindo teremos,

$$V_{ar} = \frac{472}{1,2 \times 1005 \times (30 - 23)}$$

$$V_{ar} \approx 0,056 \text{ m}^3/\text{s}$$

Logo, cada ventoinha requer capacidade mínima de 56 Litros de ar de vazão por segundo.

### 4.3.2 Controle de Avarias

Esse tópico visa abordar as possíveis mudanças, recomendações e tecnologia atual para os procedimentos de Controle de Avarias (CAv) em navios que transportam grandes quantidades de baterias de lítio com o que é preconizado pela da Marinha do Brasil em conformidade com a publicação CAAML 1201 (2017).

#### 4.3.2.1 Combate a Incêndio

O estudo conduzido por Radcliffe *et al.* (2022) aborda a complexidade dos incêndios envolvendo baterias de lítio e ressalta que esses incidentes podem ser classificados em todas as quatro categorias convencionais de incêndio, a saber:

- **Classe A:** Incêndios associados a materiais sólidos orgânicos, como madeira, papel e tecido.
- **Classe B:** Incêndios relacionados a líquidos inflamáveis ou sólidos que podem se liquefazer, tais como gasolina e graxa.

- **Classe C:** Incêndios que ocorrem em contextos de equipamentos elétricos que estão energizados.
- **Classe D:** Incêndios que implicam metais combustíveis, incluindo magnésio e titânio.

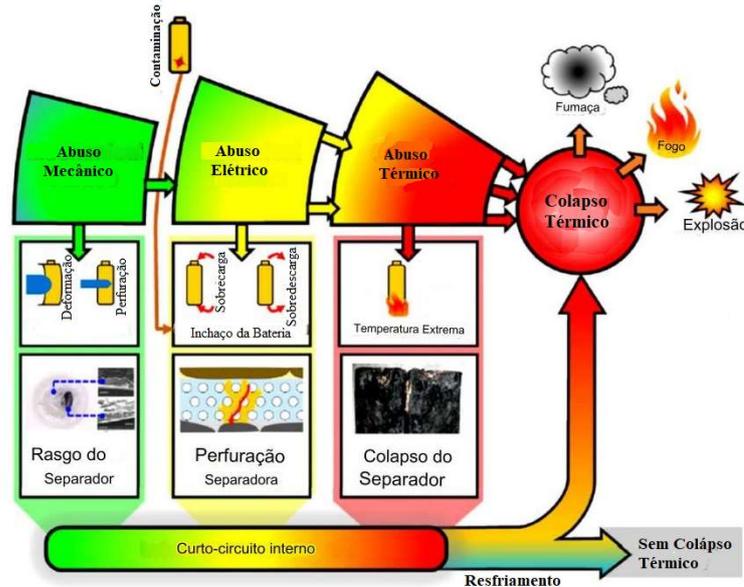
Esta classificação múltipla destaca a complexidade no combate a incêndios envolvendo baterias de lítio, exigindo uma abordagem multifacetada para a prevenção e o controle desses incidentes.

Primeiramente, Radcliffe *et al.* (2022) difere um incêndio classe C usual, para um envolvendo baterias de lítio pelo fenômeno chamado *Thermal Runaway* (Figura 23), que a tradução se aproxima a realimentação térmica. Além disso, ele elucida os níveis de prevenção até o efetivo combate com agentes extintores.

A definição de *Thermal Runaway* para Ghiji *et al* (2020) refere-se ao processo em que a temperatura interna de uma bateria de lítio aumenta além de sua faixa de operação, seja por meios externos ou internos. Se esse aumento de temperatura não é controlado e dissipado, a temperatura da bateria continuará aumentando, acelerando ainda mais a liberação de calor.

Essa reação em cadeia pode tornar os componentes da bateria instáveis e levar a um aumento adicional na geração de calor que ocasionará na ruptura da bateria gerando combustão e propagação de gases tóxicos.

Figura 23 - Causas geradoras de Realimentação térmica

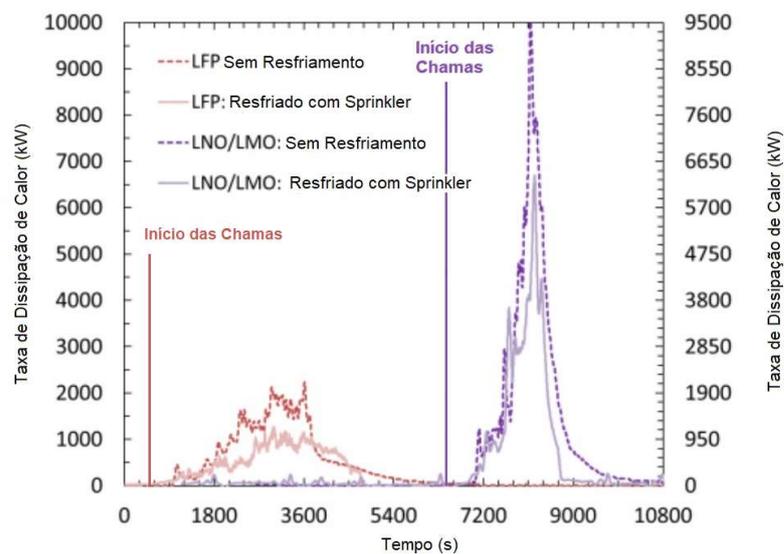


Fonte: Ghiji *et al* (2020)

Uma característica importante das baterias de lítio, segundo Ghiji *et al* (2020), é que elas usam um eletrólito orgânico inflamável, o que apresenta um risco de incêndio durante o processo de *Thermal Runaway*. Assim, embora os incêndios possam ser extintos por diversos métodos, a temperatura permanece aumentando e é necessário um resfriamento contínuo para controlar o incêndio.

Radcliffe *et al* (2022) afirma que a forma de prevenir tal evento começa pela escolha do material do catodo da bateria. No caso das LiFePo4 (Gráfico 6) são as que possuem maior resistência e estabilidade térmica de seu separador eletrolítico, podendo chegar até 310 °C antes do início da realimentação térmica (Ghiji *et al*, 2020).

Gráfico 6 - Comparativo de calor dissipado entre baterias LFP e NMC



Fonte: Thomas Long e Misera (2019)

O segundo nível de prevenção para Radcliffe *et al* (2022) é pela atuação do gerenciador de baterias, que monitora e regula a distribuição de carga/descarga e temperatura das células, impedindo que operem até o colapso químico e térmico. Além disso o compartimento deve possuir sensores de gases e temperatura, permitindo o alarme imediato a fim de garantir uma boa resposta pela tripulação para o efetivo combate (Figura 24).

Figura 24 - Níveis de prevenção de incêndio



Fonte: Ghiji *et al* (2020)

#### 4.3.2.2 Agentes extintores

Segundo Liu *et al.* (2020), na eventualidade de as medidas preventivas serem insuficientes para controlar um incêndio inicial devido a mau funcionamento, ou se um incêndio se propagar a partir de materiais ou compartimentos próximos às baterias, os agentes extintores devem além de extinguir o incêndio, resfriar as baterias durante o seu processo de realimentação térmica, que pode ser significativamente mais difícil.

Além disso, o estudo destaca que, para o gerenciamento de incêndios em grandes embarcações, a presença de sistemas fixos de *sprinklers*, é uma exigência. Esta necessidade é atribuída ao tempo estendido requerido para a guarnição e para a determinação da origem do incêndio pelas equipes especializadas em combate a incêndios. O uso de névoa d'água é especialmente recomendado devido à sua eficácia em abafar as chamas e absorver gases tóxicos liberados durante o evento de incêndio.

Entretanto, para navios de pequeno porte como os NPas classe “Grajaú” a pesquisa de Andersson *et al* (2018) apontou que a pulverização por névoa de água não se mostrou tão eficaz na extinção e resfriamento das baterias se não for aplicada diretamente no foco, ou seja, dentro equipamento o qual a bateria esteja, mas que pode ser útil para conter a propagação para compartimentos adjacentes.

Os experimentos conduzidos por Andersson *et al* (2018) apontaram que a injeção direta de água ou espuma se mostraram mais eficientes tanto para extinção quanto para o resfriamento. A Figura 25 mostra o comparativo dos agentes extintores empregados no combate a incêndio com baterias de lítio em navios.

O estudo de Zhang *et al.* (2022) indica que o nitrogênio líquido representa uma opção economicamente viável para o controle de incêndios. A eficácia deste agente na minimização de danos pode resultar em economias significativas em termos de recursos materiais em caso de um evento de incêndio.

Um dos atributos notáveis do nitrogênio líquido é a produção mínima de resíduos, atribuível à sua alta volatilidade sob condições de temperatura e pressão ambiente, isolante elétrico e melhor capacidade de resfriamento. Este agente pode ser uma solução eficaz para uso a bordo de, desde que seja aplicado por militares devidamente treinado e em conformidade com a doutrina de CAV da Marinha, preconizado no CAAML 1201.

Figura 25 - Performance dos agentes extintores utilizados em Baterias de Lítio



Fonte: Zhang *et al* (2022)

Embora o nitrogênio líquido surja como uma opção inovadora para o combate envolvendo é importante notar que os NPAs já contam com recursos de CAV eficazes para incêndio envolvendo baterias de lítio, como espuma AFFF, extintores de CO2 e extintores de PQS, além de sete tomadas de incêndio com difusores apropriados para neblina ou jato sólido.

## 4.4 Viabilidade econômica

Neste tópico, será conduzida uma avaliação estimada do retorno financeiro associado à proposta de aquisição da UPS de alta capacidade. A análise empregará quatro métodos de avaliação de investimentos, conforme delineado por Brealey *et al* (2013 p. 22), Payback, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Índice de Lucratividade (IL). Cada uma dessas técnicas oferece uma perspectiva sobre a viabilidade financeira do investimento proposto e contribuirá para uma avaliação abrangente do projeto.

Inicialmente, para calcular o custo e o retorno financeiro a longo prazo, é necessário estimar a vida útil das baterias que serão adquiridas, bem como das que serão substituídas. Além disso, quantificar a economia potencial em combustível que a nova configuração proporcionará.

### 4.4.1 Análise Técnica de Operação

As condições de operação de cada equipamento são determinísticas para o ciclo de vida e conseqüentemente, para custos relacionados a manutenção e substituição. Este estudo focará na análise do consumo de motores e baterias exclusivamente em regime de viagem. A justificativa para essa delimitação é que, quando as embarcações estão atracadas, presume-se que não haja geração de energia, uma vez que a alimentação é fornecida pela rede elétrica do cais.

Conforme estabelecido pela COMOPNAVINST N° 21-02 (2004), os NPa Classe Grajaú operam, em média, 83 dias por ano em regime de viagem. Com base nessa informação, é possível estimar o tempo anual de operação desses equipamentos,  $t_{Anual} = 1992 \text{ Horas}$ .

#### 4.4.1.1 Grupo Diesel Gerador

Conforme estabelecido no manual do motor MTU R099TB52B (MTU, 2012), integrante do Grupo Diesel Gerador, a eficiência máxima em relação ao consumo de combustível ocorre quando o gerador opera a 75% de sua capacidade máxima  $P_{Máximo} = 100kW$ , conforme evidenciado no Quadro 5.

Em função dessa observação, opta-se por fixar essa faixa de operação como padrão permanente. Tal condição torna-se viável graças ao acúmulo de energia excedente na bancada de baterias da, que assumirá a carga elétrica do navio quando estiverem carregadas,

possibilitando a interrupção da operação dos motores. Esta condição de operação será denominada  $P_{Eficiente} = 75kW$  que em valores de corrente é  $I_{Eficiente} \approx 123 A$ .

Quadro 5 - Dados de consumo do motor MTU R099TB52B

Dados de Consumo	
% da Capacidade em operação contínua	g/kWh
75%	215
50%	220
25%	250

Fonte: MTU do Brasil (2012)

#### 4.4.1.2 UPS

De acordo com o *Datasheet* (2023) fornecido pela CATL, a vida útil das baterias foi avaliada sob os seguintes parâmetros de funcionamento: o ciclo de descarga e recarga deve ser realizado a temperatura de  $25^{\circ}C$ , com uma corrente nominal de até 1C e profundidade de descarga de até 80%. Sob essas condições as baterias demonstraram capacidade de ultrapassar 3.500 ciclos antes de reduzirem permanentemente para 80% de sua capacidade nominal.

Portanto, será considerado  $C_{Util} = 3500$  como o valor máximo atingível de ciclos até a substituição das baterias de lítio. É importante ressaltar que este valor representa uma estimativa conservadora, uma vez que, mesmo com capacidade reduzida para 80%, as baterias continuam a atender às exigências operacionais do navio, o que poderia prolongar sua utilização.

A título de exemplo, de acordo com o Anexo B, aponta que em regime de viagem o navio requer uma corrente de descarga  $I_{Viagem} = 55A$ . Dada a elevada capacidade da UPS projetada, é viável estabelecer o gerenciamento de controle para a partida e parada dos geradores, com o objetivo de reduzir tanto as horas de funcionamento quanto o consumo de combustível. Para tal, será calculado os períodos de carregamento e descarga da bancada de baterias.

A corrente  $I_{Viagem} = 55A$  equivale a  $\frac{55}{202} \approx 0,27 I_C$  da capacidade da UPS, logo, a cada hora a UPS descarregará 27% da capacidade total da bancada de baterias. Assumindo estado de carga (SOC) de 100% e DOD de 80%, o tempo total de descarga será:

$$t_{Descarga} = \frac{0,8}{0,27}$$

Logo,

$t_{Descarga} \approx 2 \text{ horas e } 58 \text{ minutos.}$

Para o cálculo do tempo de recarga, será utilizado  $I_{Eficiente} = 123A$  fornecido pelo gerador em seu ponto de maior eficiência energética, calculado através da equação (8). Logo, a corrente de recarga será igual a:

$$I_{Recarga} = I_{Eficiente} - I_{Viagem} \quad (8)$$

Logo,

$$I_{Recarga} = 68A$$

A corrente de recarga das bancadas equivale a  $\frac{68}{202} \approx 0,34I_c$ , portanto levará uma hora para carregar 34% da capacidade total da bancada. Sabendo que o SOC é de 20% no momento da recarga, o tempo para carregamento total das baterias  $t_{Recarga}$  pelos geradores será:

$$t_{Recarga} = \frac{0,8}{0,34}$$

Logo,

$$t_{Recarga} \approx 2 \text{ horas e } 22 \text{ minutos}$$

O tempo total  $t_{Ciclo}$  para um ciclo completo será  $t_{Ciclo} = t_{Descarga} + t_{Recarga}$ , portanto  $t_{Ciclo} \approx 5$  horas e 20 minutos. Para encontrar a quantidade de ciclos que as baterias farão por ano  $C_{Ano}$  e o tempo de vida útil da bancada de baterias  $t_{Util}$ , faremos o seguinte cálculo:

$$C_{Ano} = \frac{t_{Anual}}{t_{Ciclo}} \quad (9)$$

$$t_{Util} = \frac{C_{Util}}{C_{Ano}} \quad (10)$$

Logo,

$$C_{Ano} \approx 374 \text{ ciclos/ano}$$

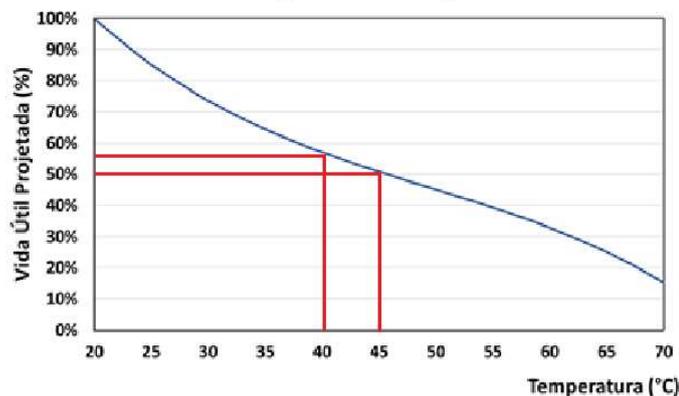
$$t_{Util} \approx 9 \text{ anos e } 4 \text{ meses}$$

#### 4.4.1.3 Baterias de Chumbo-Ácido

Para estimar o ciclo de vida das baterias VRLA, será adotado como referência o modelo 12MS234 da marca Moura, com especificações de 12V e 220Ah. É relevante observar que segundo Bradaschia *et al* (2012), o cálculo da vida útil para baterias que operam predominantemente em modo de flutuação, ou seja, que não realizam ciclos constantes de recarga e descarga, apresenta complexidade adicional, devido à mínima variação de corrente.

Por essa razão, estudos como o de Bradaschia *et al* (2012) estimam vida útil remanescente de baterias VRLA em regime de flutuação, considerando uma ampla faixa de tempo e temperatura, conforme apresentado na Quadro 6. Adicionalmente, o manual técnico das baterias Moura fornece um Gráfico que ilustra a relação entre a perda de vida útil e a temperatura, conforme evidenciado no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Efeito da temperatura de operação na vida útil da bateria  
**Vida Útil Projetada vs Temperatura**



Fonte: FMR (2021)

Quadro 6 - Expectativa de vida útil das baterias VLRA

Temperatura (°C)	Expectativa de vida (Anos)	
	Sem Compensação	Com Compensação
20	11	12
25	10	10
30	5	7,0
35	4	5,0
40	3	3,5
45	2	2,5
50	<1	>1

Fonte: Bradaschia *et al* (2012)

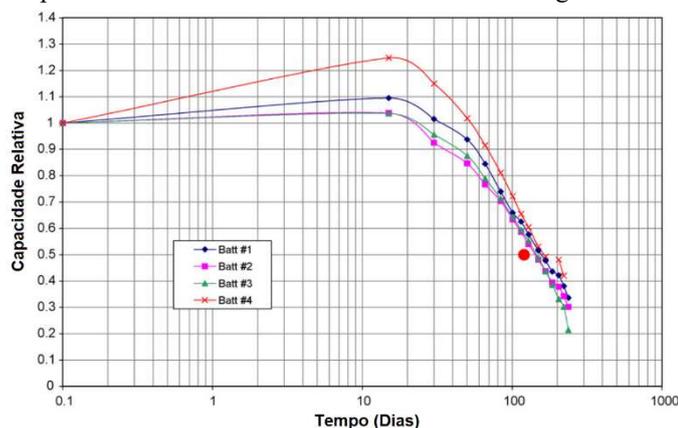
Foi verificado a bordo do NPa Gurupá, que as atuais baterias VRLA dos NPas operam em compartimentos com temperaturas que pode chegar de 40 a 45°C devido à ausência de sistemas de refrigeração, bem como à elevada quantidade de energia térmica dissipada por outros equipamentos no mesmo ambiente, como os motores a combustão da Praça de Máquinas e as unidades retificadores do compartimento de baterias.

Segundo Bradaschia *et al* (2012), a bateria VLRA em flutuação tem a vida útil prolongada, porém ainda sofre por processos químicos naturais que degradam e reduzem lentamente a sua capacidade. A sua pesquisa realizou medições no período de 60 dias em baterias sob flutuação de carga a 27°C e registrou uma redução permanente de até 6,59% da capacidade nominal.

Burgess (2009) em seu artigo “*Valve Regulated Lead Acid battery float service life estimation using a Kalman filter*” avaliou que uma bateria com compensação em flutuação operando a 50°C apresentou redução de 50% de sua capacidade nominal em apenas 120 dias (Gráfico 8).

Portanto, sem uma análise experimental desse comportamento pelo fabricante, não é possível estimar com exatidão o momento de substituí-las. Entretanto, para este estudo será adotado a troca anual de todas as baterias VRLA de bordo.

Gráfico 8 - Espectativa de vida útil das baterias VLRA em carga de flutuação a 50°C



Fonte: Burgess (2009)

#### 4.4.2 Análise de Investimento e retorno

Neste tópico para avaliar o investimento e retorno foi estabelecido a condição de retorno de investimento para a avaliar viabilidade financeira com a utilização da UPS. Para o cálculo será assumido os valores da Tabela 3 que foram coletados através de pesquisa de mercado e representam os valores atuais aproximados.

Além disso a substituição das baterias VRLA e emprego da UPS para maximizar a eficiência energética dos grupos geradores durante o período de recarga das baterias e os geradores inativos durante o período de descarga das baterias, com o objetivo de economizar combustível.

Tabela 3 - Valores assumidos para o estudo

Custo Módulo da UPS 150kW	U\$ 32.000,00
Custo Bateria LiFePo4 202Ah Unid	U\$ 91,50
Custo Gerenciador de Baterias (BMS)	U\$ 1.500,00
Custo Armário, periféricos e instalação	R\$ 15.000,00
Custo Baterias Chumbo-Ácido 220Ah	R\$ 1.750,00
Densidade do Diesel	0,853 kg/L
Preço do Litro do Diesel	R\$ 6,22
Cotação do Dolar	R\$ 5,05
Taxa Selic	12,75% a.a
Inflação média de 2013 a 2022	5,84% a.a

Fonte: O Autor

O custo inicial será a soma dos custos de aquisição pela cotação do dólar atual:

$$Custo = R\$ (91,50 \times 150 + 32.000,00 + 1.500,00) \times 5,05 + 15.000,00 \quad (11)$$

A avaliação da viabilidade financeira para a implementação da UPS se concentrará na eficiência energética do sistema ao longo de sua vida útil estimada  $t_{Util}$ .

O objetivo é determinar se as economias geradas em combustível e na eliminação da necessidade de baterias VRLA podem justificar o custo inicial do projeto. Para isso, o consumo de combustível dos regimes conhecidos, serão utilizados como uma média constante de demanda de consumo ao longo desse período. Portanto os gastos serão:

$$Custo_{Combustível} = \left[ \frac{d_c \text{ litros}}{0,853 \text{ kWh}} \times P \times t_{Ano} \times R\$ 6,22 \right] \quad (12)$$

$$Custo_{Baterias} = [R\$ 1.750,00 \times 10]_{Ano}$$

Onde,

$d_c = \text{taxa de consumo} \left[ \frac{g}{kWh} \right]$  por % de carga do gerador

$t_{Ano} = \text{Total de horas de funcionamento por ano}$

$P = \text{Potência consumida}$

As potências possíveis em regime permanente com a utilização da UPS, serão:

$P_{25\%} = 25\%$  da carga máxima

$P_{50\%} = 50\%$  da carga máxima

$P_{Teste} =$  Teste de carga máxima realizado a bordo

$P_{Viagem} =$  Média de consumo em viagem registrada

#### 4.4.3 Indicadores

- **Valor Presente Líquido:** De acordo com Brealey *et al* (2013 p. 93), o valor presente líquido (VPL) é um indicador que permite agregar todos os fluxos de caixa futuros esperados, trazendo-os para o valor atual com a taxa de depreciação ou lucratividade desejada, que para este projeto foi utilizada a taxa Selic de outubro de 2023. Segundo Brealey *et al* (2013 p. 93) para tomada de decisão o VPL precisa ser positivo, de acordo com a equação 13:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} \quad (13)$$

Onde,

$FC =$  Fluxo de Caixa

$TMA =$  Taxa Mínima de Atratividade

$n =$  Período de Tempo Total

$j =$  Intervalo de tempo

- **Payback:** Para Brealey *et al* (2013 p. 99), o *Payback* é um indicador que aponta o tempo em que o investimento se pagará e começará a gerar lucro para o investidor. Eles estabelecem a fórmula 14. Segundo eles o *Payback* é utilizado como uma referência para avaliar a atratividade do investimento. Para este cálculo será considerado também a taxa ao longo do tempo:

$$Payback = j + \frac{VPL_j}{FC_{(j+1)}} \quad (14)$$

Onde,

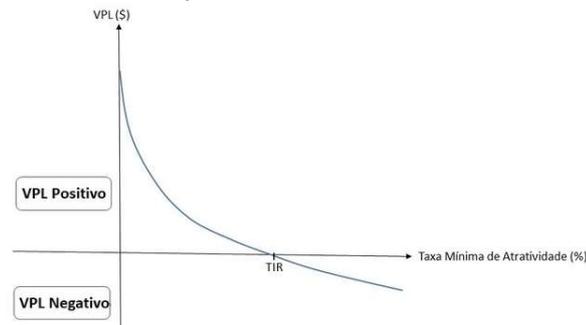
$VPL_j = \text{Último VPL negativo do período}$

$FC_{(j+1)} = \text{Fluxo de Caixa no período que se segue}$

$j = \text{Intervalo de tempo até o último VPL negativo do período}$

- **Taxa Interna de Retorno (TIR):** Segundo Brealey *et al* (2013 p. 100) a Taxa Interna de Retorno (TIR) é definida como a taxa mínima que equilibra o Valor Presente Líquido (VPL) dos fluxos de caixa com o investimento inicial assumindo  $VPL = 0$ , ou seja, a taxa de lucratividade mínima exigida ou de depreciação do retorno ao longo do período estipulado.

Gráfico 9 - Relação entre VPL e Taxa de Atratividade



Fonte: Almeida e Lage (2021)

- **Índice de Lucratividade (IL):** O Índice de Lucratividade (IL) é uma ferramenta que quantifica o retorno esperado por unidade de capital investido, segundo Ross e Jordan (2002).

Assim como o Valor Presente Líquido (VPL), o IL considera a taxa de depreciação ou lucratividade mínima ao longo do tempo. De acordo com Gitman (1987, p.445) o IL é obtido pela divisão da receita do período total, pelo investimento lucro líquido. É obtida pela formulação 16. (ROSS; JORDAN, 2002 p. 148):

$$IL = \frac{\text{Receita Total}}{\text{Lucro Líquido}} \quad (15)$$

#### 4.4.4 Análise de Resultados

A avaliação da viabilidade financeira será conduzida com base na comparação entre os custos anuais associados às operações com e sem a utilização do sistema UPS. Na configuração que incorpora o UPS, o motor gerador será operado exclusivamente sob condições que

maximizem a eficiência energética e substituirão as baterias atuais de Chumbo-Ácido, supondo que o conversor 440CA/24CC do navio consiga atender.

No cenário que inclui o uso do UPS será considerado apenas o consumo de combustível anual durante o período de vida útil das baterias de lítio. Os motores geradores serão operados a 75% de sua carga máxima, conforme estabelecido como a faixa de eficiência ótima no manual do motor fornecido pela MTU do Brasil (2012).

Esta operação otimizada visa não apenas à eficiência energética, mas também à redução dos custos operacionais ao longo do tempo. Nesta configuração, o grupo gerador carregará as baterias e atenderá à demanda de carga elétrica, logo a carga do navio não poderá ser maior que 75% da capacidade do gerador.

No cenário sem UPS, serão considerados os gastos com combustível e da manutenção das baterias de Chumbo-Ácido por ano durante o mesmo período de vida útil das baterias da UPS. Logo, os regimes que podem ser analisados são: Em viagem, em teste de carga máxima e nas faixas de operação de 25%, 50% da capacidade máxima do gerador.

O fluxo de caixa será a diferença entre esses custos entre os cenários. Os indicadores financeiros como VPL, *Payback*, TIR e IL serão aplicados para determinar a justificativa do investimento em UPS.

As Tabelas 4 a 7 apresentam os regimes operacionais e os correspondentes fluxos de caixa anuais projetados, adotando como parâmetros para a taxa de desvalorização anual a taxa Selic e a média inflacionária dos últimos dez anos. A análise dessas tabelas sugere que a ausência de uma UPS está associada a um aumento nos custos anuais quando comparada à operação que incorpora tal sistema. Isso mostra que a eficiência energética alinhada a substituição das baterias foi superior ao não uso do UPS.

Tabela 4 – Fluxo de caixa comparativo em regime de 25% de carga máxima

$$Custo_{Combustivel} = \left[ \frac{d_c \text{ litros}}{0,853 \text{ kWh}} \times P \times t \times R\$ 6,22 \right] \quad Custo_{Baterias} = [R\$ 1.750,00 \times 10]$$

<i>Investimento</i> (UPS) R\$ 253.486,25	<i>Fluxo por Ano = R\$30.209,80</i>		
$P_{25\%} = 25kW$	<i>Período</i>	<i>Taxa Selic = 12,75%</i>	<i>Inflação Média ≈ 5,84%</i>
$P_{Recarga} = 75kW$	0	-R\$ 253.486,25	-R\$ 253.756,25
<i>Custo Anual</i> (Com UPS)	1	R\$ 26.793,61	R\$ 28.542,89
R\$ 78.074,49	2	R\$ 23.763,74	R\$ 26.967,97
<i>Custo Anual</i> (Sem UPS)	3	R\$ 21.076,49	R\$ 25.479,94
R\$ 108.284,29	4	R\$ 18.693,11	R\$ 24.074,01
$t_{Recarga} \approx 2 \text{ Horas}$	5	R\$ 16.579,26	R\$ 22.745,67
$t_{Descarga} \approx 4 \text{ Horas}$	6	R\$ 14.704,44	R\$ 21.490,62
$t_{Ciclo} \approx 6 \text{ Horas}$	7	R\$ 13.041,63	R\$ 20.304,81
$t_{Anual} \approx 1992 \text{ Horas}$	8	R\$ 11.566,86	R\$ 19.184,44
$C_{Ano} \approx 332$	9	R\$ 10.258,86	R\$ 18.125,89
	10	R\$ 9.098,76	R\$ 17.125,75
	<b>VPL</b>	<b>-R\$ 87.909,49</b>	<b>-R\$ 29.714,26</b>
$C_{Útil} \approx 3500$	<b>TIR</b>		<b>3,32%</b>
$t_{Util} \approx 10 \text{ Anos}$	<b>Payback</b>	<b>Não Há</b>	<b>Não Há</b>
	<b>IL</b>	<b>Não Há</b>	<b>Não Há</b>

Fonte: O Autor

Tabela 5 - Fluxo de caixa comparativo em regime de viagem

$$Custo_{Combustivel} = \left[ \frac{d_c \text{ litros}}{0,853 \text{ kWh}} \times P \times t \times R\$ 6,22 \right] \quad Custo_{Baterias} = [R\$ 1.750,00 \times 10]$$

<i>Investimento</i> (UPS) R\$ 253.486,25	<i>Fluxo por Ano = R\$29.913,88</i>		
$P_{Viagem} = 33kW$	<i>Período</i>	<i>Taxa Selic = 12,75%</i>	<i>Inflação Média ≈ 5,84%</i>
$P_{Recarga} = 75kW$	0	-R\$ 253.486,25	-R\$ 253.756,25
<i>Custo Anual</i> (Com UPS)	1	R\$ 26.531,16	R\$ 24.793,91
R\$ 102.627,97	2	R\$ 23.530,96	R\$ 23.425,84
<i>Custo Anual</i> (Sem UPS)	3	R\$ 20.870,03	R\$ 22.133,25
R\$ 132.541,85	4	R\$ 18.510,01	R\$ 20.911,99
$t_{Recarga} \approx 2,34 \text{ Horas}$	5	R\$ 16.416,86	R\$ 19.758,12
$t_{Descarga} \approx 3 \text{ Horas}$	6	R\$ 14.560,40	R\$ 18.667,91
$t_{Ciclo} \approx 5,34 \text{ Horas}$	7	R\$ 12.913,88	R\$ 17.637,86
$t_{Ano} \approx 1992 \text{ Horas}$	8	R\$ 11.453,56	R\$ 16.664,65
$C_{Ano} \approx 373$	9	R\$ 10.158,36	R\$ 15.745,13
	9,4	R\$ 11.338,96	R\$ 9.068,07
	<b>VPL</b>	<b>-R\$ 87.202,07</b>	<b>-R\$ 64.949,52</b>
$C_{Útil} \approx 3500$	<b>TIR</b>		<b>3,13%</b>
$t_{Util} \approx 9,4 \text{ Anos}$	<b>Payback</b>	<b>Não Há</b>	<b>Não Há</b>
	<b>IL</b>	<b>Não Há</b>	<b>Não Há</b>

Fonte: O Autor

Tabela 6 - Fluxo de caixa comparativo em regime de teste de carga máxima

$$Custo_{Combustível} = \left[ \frac{d_c \text{ litros}}{0,853 \text{ kWh}} \times P \times t \times R\$ 6,22 \right] \quad C_{Baterias} = \frac{Custo_{Baterias}}{[R\$ 1.750,00 \times 10]}$$

<i>Investimento (UPS)</i>	<i>Fluxo por Ano = R\$26.241,87</i>		
<b>R\$ 253.486,25</b>			
$P_{Teste} = 42W$	<i>Período</i>	<i>Taxa Selic = 12,75%</i>	<i>Inflação Média ≈ 5,84%</i>
$P_{Recarga} = 75kW$	0	<b>-R\$ 253.486,25</b>	<b>-R\$ 253.756,25</b>
<i>Custo Anual (Com UPS)</i>	1	<b>R\$ 23.274,39</b>	<b>R\$ 24.793,91</b>
<b>R\$ 131.574,33</b>	2	<b>R\$ 20.642,47</b>	<b>R\$ 23.425,84</b>
<i>Custo Anual (Sem UPS)</i>	3	<b>R\$ 18.308,18</b>	<b>R\$ 22.133,25</b>
<b>R\$ 157.816,20</b>	4	<b>R\$ 16.237,85</b>	<b>R\$ 20.911,99</b>
$t_{Recarga} \approx 3 \text{ Horas}$	5	<b>R\$ 14.401,64</b>	<b>R\$ 19.758,12</b>
$t_{Descarga} \approx 2,34 \text{ Horas}$	6	<b>R\$ 12.773,08</b>	<b>R\$ 18.667,91</b>
$t_{Ciclo} \approx 5,34 \text{ Horas}$	7	<b>R\$ 11.328,67</b>	<b>R\$ 17.637,86</b>
$t_{Anual} \approx 1992 \text{ Horas}$	8	<b>R\$ 10.047,60</b>	<b>R\$ 16.664,65</b>
$C_{Ano} \approx 373$	9	<b>R\$ 8.911,40</b>	<b>R\$ 15.745,13</b>
	9.4	<b>R\$ 9.947,08</b>	<b>R\$ 7.954,94</b>
	<b>VPL</b>	<b>-R\$ 107.613,90</b>	<b>-R\$ 66.062,65</b>
$C_{Útil} \approx 3500$	<b>TIR</b>		<b>0,63%</b>
$t_{Util} \approx 9,4 \text{ Anos}$	<b>Payback</b>	<b>Não Há</b>	<b>Não Há</b>
	<b>IL</b>	<b>Não Há</b>	<b>Não Há</b>

Fonte: O Autor

Tabela 7 - Fluxo de caixa comparativo em regime de 50% de carga máxima

$$Custo_{Combustível} = \left[ \frac{d_c \text{ litros}}{0,853 \text{ kWh}} \times P \times t \times R\$ 6,22 \right] \quad C_{Baterias} = \frac{Custo_{Baterias}}{[R\$ 1.750,00 \times 10]}$$

<i>Investimento (UPS)</i>	<i>Fluxo por Ano = R\$21.131,37</i>		
<b>R\$ 253.486,25</b>			
$P_{50\%} = 50kW$	<i>Período</i>	<i>Taxa Selic = 12,75%</i>	<i>Inflação Média ≈ 5,84%</i>
$P_{Recarga} = 75kW$	0	<b>-R\$ 253.486,25</b>	<b>-R\$ 253.756,25</b>
<i>Custo Anual (Com UPS)</i>	1	<b>R\$ 18.741,79</b>	<b>R\$ 19.965,39</b>
<b>R\$ 156.148,98</b>	2	<b>R\$ 16.622,43</b>	<b>R\$ 18.863,75</b>
<i>Custo Anual (Sem UPS)</i>	3	<b>R\$ 14.742,73</b>	<b>R\$ 17.822,89</b>
<b>R\$ 177.280,35</b>	4	<b>R\$ 13.075,59</b>	<b>R\$ 16.839,47</b>
$t_{Recarga} \approx 4 \text{ Horas}$	5	<b>R\$ 11.596,98</b>	<b>R\$ 15.910,30</b>
$t_{Descarga} \approx 2 \text{ Horas}$	6	<b>R\$ 10.285,57</b>	<b>R\$ 15.032,41</b>
$t_{Ciclo} \approx 6 \text{ Horas}$	7	<b>R\$ 9.122,46</b>	<b>R\$ 14.202,96</b>
$t_{Anual} \approx 1992 \text{ Horas}$	8	<b>R\$ 8.090,87</b>	<b>R\$ 13.419,27</b>
$C_{Ano} \approx 332$	9	<b>R\$ 7.175,94</b>	<b>R\$ 12.678,83</b>
	10	<b>R\$ 6.364,47</b>	<b>R\$ 11.979,24</b>
	<b>VPL</b>	<b>-R\$ 137.667,42</b>	<b>-R\$ 97.041,73</b>
$C_{Útil} \approx 3500$	<b>TIR</b>		<b>-3,18%</b>
$t_{Util} \approx 10 \text{ Anos}$	<b>Payback</b>	<b>Não Há</b>	<b>Não Há</b>
	<b>IL</b>	<b>Não Há</b>	<b>Não Há</b>

Fonte: O Autor

Após análise do fluxo de caixa e indicadores de investimento, verificou-se que a implementação de uma UPS não é financeiramente viável. A economia gerada não compensa o custo de aquisição do sistema. A viabilidade mais próxima é alcançada nos regimes de viagem e com 25% de carga, com Taxas Internas de Retorno (TIR) de 3,32% e 3,13%, respectivamente. Esses valores estabelecem o limite máximo de desvalorização tolerável para que o investimento em UPS seja justificável. Fora dessas condições, o UPS não oferece benefícios em economia de combustível ou como alternativa às baterias de chumbo-ácido existentes.

Contudo, é importante destacar que a implementação da UPS levou a uma redução de significativa de horas de funcionamento dos geradores. Este fator, poderia representar economias substanciais em manutenções programadas em um estudo mais detalhado, pois conforme estabelecido no manual de operação da MTU do Brasil (2012), as rotinas de manutenção e substituição de componentes são determinadas com base nas horas de operação dos geradores.

Duas janelas de manutenção particularmente onerosas ocorrem a cada 3.200 horas (Revisão E) e 8.000 horas (Revisão W6). Segundo informações fornecidas pelo representante Luiz Pivari (2021), os custos associados a essas intervenções são de R\$98.386,30 e R\$228.211,90, respectivamente e os custos estimados ao longo de 10 anos sem considerar taxas de inflação, está na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparativo de custos e rotina de manutenção em 10 anos

	<i>Previsão de Manutenções em 10 anos</i>					
	<i>Sem UPS</i>	<i>Regime de 25%</i>	<i>Regime de Viagem</i>	<i>Regime de Teste</i>	<i>Regime de 50%</i>	
<i>Horas de Funcionamento</i>	19.920	6.640	8.720	11.190	13.280	
<i>Revisões W6</i>	2	0	1	1	1	
<i>Revisões E</i>	6	2	2	3	4	
<i>Custo total</i>	R\$ 1.046.741,60	R\$ 196.772,60	R\$ 424.984,50	R\$ 523.370,80	R\$ 621.757,10	

Fonte: O Autor

Além disso segundo Carvalho (2011 p. 15), essa a cada litro de diesel corresponde a emissão de aproximadamente 3,2kg de CO<sub>2</sub>. Essa redução nas emissões de CO<sub>2</sub> não apenas contribui para a sustentabilidade ambiental, mas também pode ser considerada um benefício adicional significativo da implementação da UPS (Tabela 9).

Tabela 9 – Consumo e Redução de CO2 em 10 anos

<i>Consumo de Diesel em 10 anos</i>							
<i>Regime de 25%</i>		<i>Regime de Viagem</i>		<i>Regime de Teste</i>		<i>Regime de 50%</i>	
<i>Sem UPS</i>	<i>Com UPS</i>	<i>Sem UPS</i>	<i>Com UPS</i>	<i>Sem UPS</i>	<i>Com UPS</i>	<i>Sem UPS</i>	<i>Com UPS</i>
<i>145.950 Litros</i>	<i>125.520 Litros</i>	<i>184.950 Litros</i>	<i>164.990 Litros</i>	<i>225.580 Litros</i>	<i>211.530 Litros</i>	<i>256.880 Litros</i>	<i>251.040 Litros</i>
<i>Redução de CO2 em 10 anos</i>							
<i>65,37 Ton</i>		<i>63,87 Ton</i>		<i>44,96 Ton</i>		<i>18,68 Ton</i>	

Fonte: O Autor

## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 Considerações Finais

O principal objetivo deste trabalho foi investigar e comparar a viabilidade e eficácia da implementação das UPS. A pesquisa foi motivada pela necessidade de otimizar o gerenciamento energético a bordo dessas embarcações, levando em consideração aspectos técnicos, operacionais, normativos e financeiros.

A fundamentação teórica foi elaborada com intuito de elucidar e fundamentar a partir de uma revisão bibliográfica abrangente que incluiu estudos acadêmicos, artigos científicos, normativas e dados técnicos. Essa base teórica permitiu um aprofundamento significativo no tema da gestão de energia em navios da Marinha, com foco particular na Classe Grajaú.

Os resultados indicam que, embora as baterias de lítio ofereçam vantagens consideráveis em termos de segurança, confiabilidade e qualidade de energia, elas não se mostraram financeiramente viáveis como inicialmente previsto.

A análise financeira demonstrou que, apesar dos benefícios técnicos e operacionais, a implementação de baterias de lítio não é economicamente atrativa segundo os critérios adotados. No entanto, é crucial notar que as baterias de íon-lítio superam as de chumbo em diversos aspectos, como durabilidade, eficiência energética e impacto ambiental e podem ser futuramente viáveis para a proposta inicial. Caso haja crescimento do mercado energético de baterias de lítio, que de acordo com Mateus Badra (2021), já houve sucessivas quedas no preço das baterias de lítio, e a previsão é de uma queda de 68% nos preços das baterias de lítio até 2050

Neste contexto, a sustentabilidade emerge na gestão ambiental pela Marinha, pois as vantagens em termos de eficiência energética e menor impacto ambiental, representam uma direção alinhada com as conferências normas internacionais sobre sustentabilidade e redução de poluentes a base de carbono.

Elas contribuem para a redução da emissão de gases poluentes e para o uso mais eficiente dos recursos, tornando-se uma opção atraente do ponto de vista da sustentabilidade.

O estudo apresentou algumas limitações, incluindo a falta de dados práticos sobre a eficiência energética do sistema e a escassez de fabricantes nacionais de baterias de lítio, o que encareceu a proposta. Essas limitações apontam para a necessidade corrente de mais pesquisas e desenvolvimento tecnológico na área de baterias para aplicações navais.

Este trabalho pode ser considerado de relevância para a Marinha do Brasil, pois oferece uma análise detalhada das opções disponíveis para a gestão de energia em Navios-Patrolha. Embora a viabilidade financeira não tenha sido confirmada através dos parâmetros adotados, o estudo destaca a viabilidade acerca do tema, uma vez que há variáveis que não foram aprofundadas para este estudo e mudanças no cenário econômico são decisivas.

Por fim, os resultados e análises deste trabalho fornecem um guia alentado para futuras implementações e pesquisas, especialmente dentro da Marinha do Brasil, que ressalta a importância de considerar fatores de sustentabilidade nas decisões de gestão energética, sugerindo que as baterias de lítio, apesar de suas limitações financeiras atuais, não devem ser descartadas para futuras implementações, especialmente à medida que as preocupações ambientais ganham destaque nas agendas políticas e sociais.

## **5.2 Sugestões para futuros trabalhos**

Recomenda-se a realização de um estudo de caso para avaliar a precisão dos cálculos estimativos empregados neste trabalho. Recomenda-se também a extensão deste estudo para outras classes de navio, que contribuirá não apenas para o enriquecimento do corpus de pesquisa sobre o tema, mas também pela busca da melhoria contínua da eficiência energética e da sustentabilidade ambiental dos navios da Marinha do Brasil.

Uma pesquisa futura com as novas tecnologias disponíveis no mercado de baterias também é recomendada, a fim de explorar alternativas que possam otimizar ainda mais a proposta de implementação de UPS de alta capacidade.

Por fim, propõe-se a elaboração de um estudo para os Navios-Patrolha da classe Grajaú que contemple a substituição de motores a combustão por motores de indução, em conjunto com uma reserva de energia em UPS com baterias de lítio, visando maximizar a eficiência operacional e minimizar o impacto ambiental.

## REFERÊNCIAS

AAMIR, M.; KALWAR, K. A.; MEKHILEF, S. Review: Uninterruptible Power Supply (UPS) system. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kuala Lumpur, Renewable and Sustainable Energy Reviews Mai 2016., p. 1395-1410

ALMEIDA, B. S. S.; LAGE, G. G. **Análise de viabilidade econômica de projetos de geração fotovoltaica com a estimação de índices macroeconômicos por redes neurais artificiais com seleção de atributos**. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, p. 1-10. 2021.

ALMEIDA, N.; SOUZA, C. UMA VISÃO DA GESTÃO AMBIENTAL DE MEIOS NAVAIS NACIONAIS A PARTIR DAS NORMAS DA MARINHA DO BRASIL. **Revista da Escola de Guerra Naval**, Rio de Janeiro, 28, n. 3, Revista da Escola de Guerra Naval Dezembro 2022., p. 723-754 Disponível em: <https://portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/revistadaegn/article/view/3935/3818>. Acesso em: 22 Out 2023.

AMY, J. V. Considerations in the design of naval electric power systems. **IEEE Power Engineering Society Summer Meeting**, Chicago, 21 Jul 2002., p. 331-335

ANDERSSON, P. *et al.* **Lion Fire: Extinguishment and mitigation of fires in Li-ion batteries at sea**. Research Institutes of Sweden. Borås, p. 16-33. 2018.

ARORA, P.; WHITE, R. E.; DOYLE, M. Capacity Fade Mechanisms and Side Reactions in. **Journal of The Electrochemical Society**, Wilmington, v. 145, n. 10, p. 3647-3667, 1998. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1.1838857>. Acesso em: 22 Out 2023.

BADRA, M. Preço da bateria de lítio deve cair 68% até 2050. **Canal Solar**, 4 Junho 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/preco-da-bateria-de-litio-deve-cair-68-ate-2050/>. Acesso em: 22 Out 2023.

BARROS, M. O uso dos Navios Patrulha pela Marinha. **Defesa em Foco**, 27 Dez 2022. Disponível em: <https://www.defesaemfoco.com.br/o-uso-dos-navios-patrolha-pela-marinha/>. Acesso em: 22 Out 2023.

BATTERY UNIVERSITY. **BU-205 Types of Lithium-ion**, 22 Out 2021. Disponível em: <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>. Acesso em: 22 Out 2023.

BAZINSKI, S.; WANG, X. Effect of Cooling the Cathode Tab Bus Bar on the Thermal Characteristics of LFP Prismatic Cells under Various Discharge Rates of Constant Current. **ECS - The Electrochemical Society**, 13 Mai 2013. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/MA2013-01/4/111/pdf>. Acesso em: 22 Out 2023.

BEKIAROV, S. B.; EMADI, A. Uninterruptible power supplies: classification, operation, dynamics, and control. **Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition**, Dallas, v. 1, p. 597-604, Mar. 2002. ISSN 0-7803-7404-5.

BRADASCHIA, F. *et al.* Sistema de Monitoramento da Vida Útil de Baterias Chumbo-Ácidas em Subestações. **IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE 2012**, Goiânia, 2012., p. 1-6

BRASIL. Resolução Nº 401, de 04 de nov, de 2017. **Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado [.]**, Brasília, DF, 4 Nov 2008. Disponível em: <http://siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8694>. Acesso em: 22 Out 2023.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos [.]**, Brasília, DF, Presidência da República, 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm).

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos [.]**, Brasília, Presidência da República, 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 22 Out 2023.

BRASIL. **Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, p. 3-41. 2019.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; ALLEN, F. **Princípios de Finanças Corporativas**. Tradução de Celso Roberto Paschoa. 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. p. 22, 93, 100. ISBN 978-85-8055-239-3.

BRITO, P. **Análise e viabilidade de projetos de investimentos**. São Paulo: Atlas, 2003. ISBN 9788522433704.

BURGESS, W. L. Valve Regulated Lead Acid battery float service life estimation using a Kalman filter. **Journal of Power Sources**, 191, n. 1, 2009., p. 16-21

CARVALHO, C. H. R. **EMISSÕES RELATIVAS DE POLUENTES DO TRANSPORTE MOTORIZADO DE PASSAGEIROS NOS GRANDES CENTROS URBANOS BRASILEIROS**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, DF, p. 15. 2011. (1415-4765).

CASTRO, S. S. **Imunidade soberana e impactos ambientais decorrentes de operações militares navais: o controle de tráfego militar na Amazônia Azul para uma defesa ambiental proativa**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 168. 2019.

CATL. **MATERIAL SAFETY DATA SHEET**. A-119. ed. Ningde: Contemporary Amperex Technology co. Limited, 2018. Disponível em: <https://www.morrobayca.gov/DocumentCenter/View/15269/Representative-Safety-Data-Sheets>. Acesso em: 22 Out 2023.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Tradução de Anatólio Laschuk. 5. ed. Porto Alegre: AMGH EDITORA, 2013.

CHEN, K.; UNSWORTH, G.; LI, X. Measurements of heat generation in prismatic Li-ion batteries. **Journal of Power Sources**, Waterloo, 261, 1 Set 2014., p. 28-37 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775314003504>. Acesso em: 22 Out 2023.

CORADDU, A. *et al.* Chapter 5 - Energy storage on ships. **Sustainable Energy Systems on Ships**, 2022., p. 197-232

DEXTER. 1 Vídeo (14:29 min). LFP Cell Compression || The What Why How & Very Important Considerations || Step-By Step Tutorial. **Publicado pelo canal HighTechLab**, 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cwBxe4cu3yo&t=477s>. Acesso em: 22 Out 2023.

DINGER, A. *et al.* **Batteries for Electric Cars, Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020**. The Boston Consulting Group. [S.l.], p. 3. 2010.

DOERRY, N. H.; CLAYTON, D. H. Shipboard electrical power quality of service. **IEEE Electric Ship Technologies Symposium**, Philadelphia, 27 Jul 2005., p. 274-279

EMADI, A.; NASIRI, A.; BEKIAROV, S. B. **Uninterruptible Power Supplies and Active Filters**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017. p. 296. ISBN 9781315220451.

EVLITHIUM. CATL LiFePO4 Battery 202Ah. **Evlithium**, 2023. Disponível em: <https://www.evlithium.com/catl-battery-cell/1001.html>. Acesso em: 22 Out 2023.

EWERT ENERGY SYSTEMS. **Orion BMS 2 Wiring & Installation Manual Rev 1.1**. Carol Stream: [s.n.], 2018. Disponível em: <https://www.orionbms.com/products/orion-bms-standard/>. Acesso em: 22 Out 2023.

FAN, J.; TAN, S. Studies on Charging Lithium-Ion Cells at Low Temperatures. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 153, n. 6, Abr. 2006. ISSN 1945-7111. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1.2190029>. Acesso em: 22 Out 2023.

FERREIRA, R. T. **Análise da viabilidade econômica da substituição de banco de baterias: chumbo-ácido x Ni-Cd, considerando diferentes temperaturas ambiente**. Proceedings of the 13th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC 2021). Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo. 18 Mai 2021.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas**. Tradução de Anatólio Laschuk. 7. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2014. p. 91-110. ISBN 978-85-8055-374-1.

FMR. **MANUAL TÉCNICO MOURA SOLAR SÉRIE MS**. Itapetininga, SP: [s.n.], v. 1.4, 2021. p. 26-27. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1&file=custom/upload/File-1688758451.pdf>. Acesso em: 22 Out 2023.

FRASER, K. C. The Naval Institute Guide to Combat Fleets of the World (16th edition). **Reference Reviews**, 28, 13 Mai 2014., p. 21\*21

GABBAR, H. A.; OTHMAN, A. M.; ABDUSSAMI, M. R. Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards. **Technologies**, Oshaw, 9, 11 Abr 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7080/9/2/28>.

GALATRO, D. *et al.* **THERMAL BEHAVIOR OF LITHIUM BATTERIES: AGING, HEAT GENERATION, THERMAL MANAGEMENT AND FAILURE.** Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto. Toronto. 2020. (2151-8629).

GARCHE, J.; JOSSEN, A. Battery management systems (BMS) for increasing battery life time. **TELESCON 2000. Third International Telecommunications Energy Special Conference (IEEE Cat. No.00EX424)**, Dresden, 10 Mai 2000., p. 81-88

GHIJI, M. *et al.* A Review of Lithium-Ion Battery Fire Suppression. **Energies**, **13**, Melbourne, 5117, 2020., p. 1 Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/19/5117>. Acesso em: 22 Out 2023.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira.** Tradução de Allan Vidigal Hastings. 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Education do Brasil, 2010. p. 370. ISBN 978-85-7605-332-3.

GONÇALVES, F. D. **Resposta de sistemas ininterruptos de energia frente a fenômenos de qualidade da energia.** Universidade Federal de Brasília. Brasília. 2008. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

GUERRERO, J. M.; HANG, L.; UCEDA, J. Control of Distributed Uninterruptible Power Supply Systems. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 55, p. 2845-2859, Ago. 2008. ISSN 1557-9948. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4582449>. Acesso em: 22 Outubro 2008.

GUILLARDI JÚNIOR, H. *et al.* Fontes Ininterruptas de Energia: uma revisão sobre aspectos construtivos e técnicas de controle do estágio de saída. **Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica**, Araxá, 01 Jun 2013.

GUZMÁN, W. Procetradi. **Aplicación del Peak Shaving con Sistemas de Almacenamiento de Energía a través de Baterías**, 25 Mai 2022. Disponível em: <https://www.procetradi.com/blog/peak-shaving-con-bess/>. Acesso em: 22 Out 2023.

GWL GROUP. 1 Vídeo (8:38 min). Dangerous vs. Safe batteries, Explosion and fire test! **Publicado pelo canal GWL Group**, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Qzt9RZ0FQyM&t=207s>. Acesso em: 22 Out 2023.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. III, 2012. p. 146. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6871859/mod\\_resource/content/1/Fundamentos%20de%20F%C3%ADsica%20-%20Halliday%20-%209%C2%AA%20Edi%C3%A7%C3%A3o%20Vol.3%20Ed.9.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6871859/mod_resource/content/1/Fundamentos%20de%20F%C3%ADsica%20-%20Halliday%20-%209%C2%AA%20Edi%C3%A7%C3%A3o%20Vol.3%20Ed.9.pdf). Acesso em: 22 Out 2023.

HOYT, T. D. The United States and Maritime Strategy: A Parochial View from the U.S. Naval War College. **Orbis**, 27 Ago 2007., p. 577-584

IMO. **International Convention for the Safety of Life at Sea**. Consolidated. ed. Londres: IMO PUBLICATIONS, 2004. p. 27-296. Disponível em: [http://library.arcticportal.org/1696/1/SOLAS\\_consolidated\\_edition2004.pdf](http://library.arcticportal.org/1696/1/SOLAS_consolidated_edition2004.pdf). Acesso em: 22 Out 2023.

IMO. **International Maritime Dangerous Goods Code**. [S.l.]: IMO PUBLICATION, v. I, 2022. p. 173-174. Disponível em: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/004/imo.imdg.1.2006.pdf>. Acesso em: 22 Out 2023.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **International Convention for the Safety of Life at Se**. [S.l.]: [s.n.]. 2004.

INUI, Y.; HIRAYAMA, S.; TANAKA, T. Detailed estimation method of heat generation during charge/discharge in lithium-ion battery using equivalent circuit. **IEEJ Transactions on Power and Energy**, 139, n. 10, 4 Dez 2019., p. 610-619 Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ecj.12221>. Acesso em: 22 Out 2022.

IVANOVA, M.; DIMITROVA, R.; FILIPOV, A. Analysis of Power Outages and Human errors in the Operation of Equipment in Power Grids. **Electrical Engineering Faculty Conference (BuleF)**, Varna, Bulgaria, 12 Setembro 2020., p. 1-5

KRZYSZTOF, P. Analysis of disturbance time in UPS operation. **2018 Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE)**, Raławice, 2018., p. 187-190

LIU, Y. *et al.* Experimental study on a novel safety strategy of lithium-ion battery integrating fire suppression and rapid cooling. **Journal of Energy Storage**, 28, 2020.

LONGFEI, Y. *et al.* **Product Specification of 202Ah Cell LEP54H4K1**. Ningde: DATASHEET CATL, 2023. p. 1-15. Disponível em: <https://diysolarforum.com/resources/catl-battery-datasheets.331/>. Acesso em: 22 Out 2023. Rev 1.

LU, L. *et al.* A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. **Journal of Power Sources**, Beijing, 226, 15 Mar 2013., p. 272-288 Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/>. Acesso em: 22 Out 2023.

MARINHA DO BRASIL. **Estudo Técnico da Análise de Carga Elétrica, CCN-EST-NPa02-300-001C**. Diretoria de Engenharia Naval. Niterói, p. 2-29. 1988.

MARINHA DO BRASIL. **Livro do Navio-Patrolha Gurupa**. Diretoria de Engenharia Naval. Niterói, p. 1-23. 1988. Esquema Elétrico.

MARINHA DO BRASIL. **PLANO DE SEGURANÇA DO NAVIO, CCN-831-NPA02-801-012-A**. Diretoria de Engenharia Naval. Rio de Janeiro, p. 1-2. 1988.

MARINHA DO BRASIL. **COMOPNAVINST N° 21-02 - Ciclo de Atividades dos Meios Operativos**. COMANDO DE OPERAÇÕES NAVAIS. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

MARINHA DO BRASIL. **NPa02 – SISTEMA DE CONTROLE DE AVARIAS – LISTA DE DOTAÇÃO DE CA<sub>v</sub>, LIS-NPa02-664-002 E**. Diretoria de Engenharia Naval. Rio de Janeiro, p. 1-15. 2009.

MARINHA DO BRASIL. **CAAML-1201 Rev 2, ORGANIZAÇÃO DO CONTROLE DE AVARIAS**. CENTRO DE ADESTRAMENTO ALMIRANTE MARQUES DE LEÃO. Niterói, RJ, p. 19-35. 2017.

MARINHA DO BRASIL. Marinha realiza limpeza de praias no Norte e Nordeste do país pela campanha “Combate ao lixo no mar”. **Marinha do Brasil**, 2021. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/noticias/marinha-realiza-limpeza-de-praias-no-norte-e-nordeste-do-pais-durante-campanha-combate-ao>. Acesso em: 22 Out 2023.

MARINHA PORTUGUESA. Marinha acompanha a situação do navio mercante incendiado ao largo dos Açores (novas imagens). **Marinha**, 18 Fev 2022. Disponível em: <https://www.marinha.pt/pt/media-center/Noticias/Paginas/Marinha-acompanha-a-situacao-do->

navio-mercante-incendiado-ao-largo-dos-Acores-(novas-imagens).aspx. Acesso em: 22 Out 2023.

MARTINI, F. Os Navios da Marinha em 2017. **Naval**, 2017. Disponível em: [https://www.naval.com.br/blog/home/os-102-navios-da-marinha-em-2017- onde- ficam-e-quais-sao/](https://www.naval.com.br/blog/home/os-102-navios-da-marinha-em-2017-onde- ficam-e-quais-sao/). Acesso em: 21 Outubro 2023.

MOTTA, R. D. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos**: Tomada de decisão em projetos industriais. 8522430799. ed. São Paulo: ATLAS, 2002.

MTU DO BRASIL. **Manual de Operação e Manutenção – Motores Série 6R 099**. São Paulo, SP: [s.n.], 2012.

MUTARRAF, M. U. *et al.* Energy Storage Systems for Shipboard Microgrids—A Review. **Energies**, Aalborg, 11, Dez 2018., p. 1-32 Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/329644548\\_Energy\\_Storage\\_Systems\\_for\\_Shipboard\\_Microgrids-A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/329644548_Energy_Storage_Systems_for_Shipboard_Microgrids-A_Review). Acesso em: 22 Out 2023.

OHNESEIT, S. *et al.* Thermal and Mechanical Safety Assessment of Type 21700 Lithium-Ion Batteries with NMC, NCA and LFP Cathodes—Investigation of Cell Abuse by Means of Accelerating Rate Calorimetry (ARC). **Batteries**, 237, n. 9, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-0105/9/5/237>. Acesso em: 22 Out 2023.

PIVARI, L. C. R. **[Correspondência]**. Destinatário: Gabriel Espírito. Rio de Janeiro. 31 Ago 2021. *e-mail*.

RADCLIFFE, O. *et al.* **Recommending Measures for Preventing and Responding to Lithium-ion Battery Fires at Sea**. Worcester Polytechnic Institute, Interactive Qualifying Project. Worcester, p. 96. 2022.

REDAÇÃO. Náutica. **Ministério do Meio Ambiente lança Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar**, 22 Mar 2019. Disponível em: <https://nautica.com.br/ministerio-do-meio-ambiente-lanca-plano-nacional-de-combate-ao-lixo-no-mar/>. Acesso em: 22 Out 2023.

RHEINFELD, J. A. G. **Performance and Safety of Lithium-Ion Electrodes and Cells: Modeling, Simulation, and Validation at Elevated Temperatures and Currents**. Technische Universität München, Dissertação (Doutorado). Munique, p. 240. 2019.

ROBERTS, B.; MCDOWALL, J. Commercial successes in power storage. **IEEE Power and Energy Magazine**, 3, 14 Mai 2005., p. 24-30 Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1405867>. Acesso em: 22 Outubro 2023.

ROSS, S. A.; JORDAN, B. D.; , R. W. **Princípios de administração financeira**. Tradução de Antonio Zoratto Sanvicente. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. p. 148, 183. ISBN 9788522426066.

SALKIND, A. J. **A PERSONAL HISTORY OF THE LEAD-ACID STORAGE BATTERY INDUSTRY**. Proceedings of the Symposium on History of Battery Technology. Pennington: The Electrochemical Society. 1987, p. 177-256.

SANTOS, E.; SCHWENGBER, L. R. C. A utilização da fire extinguishing ball no combate à incêndio no Corpo de Bombeiros de Santa Catarina. **Ignis: Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**, Santa Catarina, 3, n. 1, 23 Jan 2018., p. 13-17 Disponível em: <https://ignis.emnuvens.com.br/revistaignis/article/view/49/46>. Acesso em: 22 Out 2023.

SAUNDERS, S.; PHILPOTT, T. Jane's Fighting Ships 2015-2016. **Jane's Information Group**, Jul 2015., p. 1040

SCHNEIDER ELECTRIC. **Galaxy VS UPS for External Batteries, 990-91111J-001**. Rueil Malmaison: [s.n.], 2023. Disponível em: [https://www.productinfo.schneider-electric.com/galaxyvs\\_iec/](https://www.productinfo.schneider-electric.com/galaxyvs_iec/). Acesso em: 22 Out 2023.

SCIENCES, T. R. S. A. O. The Nobel Prize. **Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2019: LITHIUM-ION BATTERIES**, Stockholm, 9 Out 2019. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/advanced-chemistryprize2019.pdf>. Acesso em: 22 Out 2023.

SIGRIST, L.; LOBATO, E.; ROUCO, L. Energy storage systems providing primary reserve and peak shaving in small isolated power systems: An economic assessment. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 53, p. 675-683, Dez. 2013.

SOUZA, A.; CLEMENTE , A. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos - Fundamentos, técnicas e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009. p. 186. ISBN 8522450374.

STAN, A. I. *et al.* A comparative study of lithium ion to lead acid batteries for use in UPS applications. **IEEE 36th International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)**, Vancouver, 28 Set 2014., p. 1-8

STEINBERG, D. S. **Cooling Techniques for Electronic Equipment**. 2. ed. New York: A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, 1992. p. 157-187. ISBN 0471524514.

TASHAKOR, N. *et al.* Three-phase on-line uninterruptible power supply with isolated battery charger. **2016 24th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)**, Shiraz, 10-12 Mai 2016.

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES. **Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2019: LITHIUM-ION BATTERIES**. Stockholm: The Nobel Prize. 9 Out 2019.

THOMAS LONG, R.; MISERA, A. M. **Sprinkler Protection Guidance for Lithium-Ion Based Energy Storage Systems**. Fire Protection Research Foundation. Bowie, p. 37. 2019.

TOLL, M. **DIY Lithium Batteries How to Build Your Own Battery Packs**. [S.l.]: Toll Publishing, 2017. p. 62-72. Disponível em: <https://nvhrbiblio.nl/biblio/boek/Toll%20-%20DIY%20Lithium%20Batteries.pdf>.

UN. **Manual of Tests and Criteria**. 7. ed. New York and Geneva: United Nations Publication, 2019. p. 346-441. ISBN 978-92-1-004503-2. Disponível em: [https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev7/Manual\\_Rev7\\_E.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev7/Manual_Rev7_E.pdf). Acesso em: 22 Out 2023.

UN. **Recommendations on the Transport of Dangerous Goods**. 21. ed. New York and Geneva: United Nation Publication, v. I, 2019. p. 424-436. Disponível em: [https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev21/ST-SG-AC10-1r21e\\_Vol1\\_WEB.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev21/ST-SG-AC10-1r21e_Vol1_WEB.pdf). Acesso em: 22 Out 2023.

VEIGA, F. Nova Imprensa. **Marinha recebe com otimismo o Plano de Combate ao Lixo no Mar**, 23 Mar 2019. Disponível em: <https://novaimprensa.com/2019/03/marinha-plano-nacional-combate-lixo-no-mar.html>. Acesso em: 22 Out 2023.

WANG, Z. *et al.* Fire behavior of lithium-ion battery with different states of charge induced by high incident heat fluxes. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 136, 2019., p. 2239–2247

WANG, Z.; ZHANG, W. Battery system matching and design for a formula student electric racecar. **IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)**, Beijing, p. 1-6, 31Ago. 2014. ISSN 978-1-4799-4239-8. Disponivel em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6940713>. Acesso em: 22 Out 2023.

WU, Y. **Lithium-Ion Batteries Fundamentals and Applications**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. p. 268. ISBN 9780429096884.

ZHANG, B.; QIU, D. Multiple-Input Single-Output High-voltage AC–DC Converters. **In: \_\_\_\_\_ Multi-terminal High-voltage Converter**. [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2019., p. 81-112. ISBN 978-1-119-18834-6. Disponivel em: <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?bknumber=8496399>. Acesso em: 22 out. 2023.

ZHANG, L. *et al.* A Review of Fire-Extinguishing Agents and Fire Suppression Strategies for Lithium-Ion Batteries Fire. **Fire Technology**, 2022.

## APÊNDICE A – TABELA DECISÃO DAS BATERIAS DE LÍCIO

Fabricante	Composição química	Modelo	Tensão Nominal (V)	Capacidade (AH)	Densidade Energética (Wh/kg)	Ciclo de Vida	Preço (US\$)	Formato	Peso (kg)
CATL	LiFePo4	280Ah CATL LiFePO4	3,2	280	168	12000	\$ 210,00	Prismático	5,34
EVE Energy	LiFePo4	LF280K-72174	3,2	280	165	6000	\$ 189,00	Prismático	5,42
CRJ Technology Limited	LiFePo4	RJ-LFP71173200-271	3,2	271	161	6000	\$ 193,00	Prismático	5,4
JIANGSU HIGEE	LiFePo4	HJLFP48173170E-120Ah	3,2	120	134	5500	\$ 83,00	Prismático	2,86
CATL	LiFePo4	LEP71H3L7-01	3,2	302	175	4000	\$ 240,00	Prismático	5,51
Amita Technologies	LiFePo4	120155250P-LF01	3,2	40	131	4000	\$ 59,00	Prismático	0,98
<b>CATL</b>	<b>LiFePo4</b>	<b>LEP54H4K1</b>	<b>3,2</b>	<b>202</b>	<b>168</b>	<b>3500</b>	<b>\$ 91,50</b>	<b>Prismático</b>	<b>3,84</b>
EVE Energy	LiFePo4	LF280N-72174	3,2	280	169	3500	\$ 185,00	Prismático	5,3
EVE Energy	LiFePo4	LF304-72174	3,2	304	177	3500	\$ 220,00	Prismático	5,49
EVE Energy	LiFePo4	LF105-73103	3,2	106,5	172	3500	\$ 74,00	Prismático	1,98
EVE Energy	LiFePo4	LF90K	3,2	91,5	147	3500	\$ 65,00	Prismático	1,99
EVE Energy	LiFePo4	LF75	3,2	75	128	3500	\$ 50,00	Prismático	1,88
GFB	LiFePo4	48173125-100Ah	3,2	100	139	3000	\$ 70,00	Prismático	2,3
JIANGSU HIGEE	LiFePo4	HJLFP48173170E-152Ah	3,2	152	165	3000	\$ 75,00	Prismático	2,94
Lishen	LiFePo4	LP37173207-150Ah	3,2	150	166	3000	\$ 75,00	Prismático	2,9
Lishen	LiFePo4	LP54173210-202Ah	3,2	202	166	3000	\$ 109,00	Prismático	3,9
A123	LiFePo4	AMP20M1HD-A	3,3	19,6	130	3000	\$ 80,00	Prismático	0,496
CALB	LiFePo4	L160F100B	3,2	100	162	3000	\$ 77,00	Prismático	1,97
EVE Energy	LiFePo4	LF280K-72174	3,2	280	165	2500	\$ 179,00	Prismático	5,42
Saft	LiFePo4	VL 45E FE	3,3	44	161	2500	\$ 45,00	Cilindrico	0,9
ECO POWER GROUP	LiFePo4	EC-AU228-NAH3L4	3,2	228	174	2000	\$ 117,00	Prismático	4,2
Lishen	LiFePo4	LP71173207-272Ah	3,2	272	164	2000	\$ 189,00	Prismático	5,302
A123	LiFePo4	A123 50AH	3,3	50	141	2000	\$ 56,00	Prismático	1,167
CALB	LiFePo4	L135F72	3,2	72	129	2000	\$ 79,00	Prismático	1,78
CALB	LiFePo4	LFP176Ah	3,2	176	141	2000	\$ 188,00	Prismático	3,984
CALB	LiFePo4	28650FS3	3,2	3,6	129	2000	\$ 5,00	Prismático	0,089
Melasta	LiFePo4	MB-LFP-32173128	3,2	60	136	2000	\$ 68,00	Prismático	1,41
Melasta	LiFePo4	MB-IFR26650	3,2	3,8	132	2000	\$ 6,00	Cilindrico	0,092
EVE Energy	LiFePo4	LF280N-72174	3,2	280	169	1800	\$ 175,00	Prismático	5,3
EVE Energy	LiFePo4	LF304-72174	3,2	304	177	1800	\$ 224,00	Prismático	5,49
EVE Energy	LiFePo4	LF280-72174	3,2	280	172	1800	\$ 186,00	Prismático	5,22
A123	LiFePo4	A123 20AH	3,3	20	133	1000	\$ 34,00	Prismático	0,496

Fonte: O Autor

## APÊNDICE X – TABELA DECISÃO DOS GERENCIADORES

Fabricante	Modelo	Capacidade de Baterias	Gerência de Corrente	Gerência de Temperatura	Sensor de Corrente	Sensor de Estado de Carga	Topologia	Custo (US\$)
Clean Power	Mini BMS	180	Sim	Limitado	Não	Não	Modular	\$ 70,00
Elithion	Lithiumate HD	200	Sim	Limitado	Sim	Sim	Distribuído	\$ 770,00
Steval	L99615C	5	Sim	Completa	Sim	Sim	Distribuído	\$ 925,00
Nuvation Energy	G5 HIGH-VOLTAGE BMS	25	Sim	Completa	Não	Não	Distribuído	\$ 780,00
Chargery	B Series	12	Não	Limitado	Não	Não	Centralizado	\$ 420,00
BMS Power Safe	8-18S	18	Não	Limitado	Não	Não	Modular	\$ 250,00
Electric Motor Sport	EMUS BMS	100	Sim	Completa	Não	Não	Distribuído	\$1.335,00
Flux Power	Flux	256	Sim	Completa	Sim	Sim	Modular	\$1.050,00
<b>Ewert</b>	<b>Orion2</b>	<b>180</b>	<b>Sim</b>	<b>Completa</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Centralizado</b>	<b>\$ 1.500,00</b>
123 Electric	SmartBMS gen3	255	Não	Completa	Sim	Sim	Modular	\$1.460,00
RoboteQ	BMS10x0	255	Não	Parcial	Sim	Sim	Modular	\$1.440,00
Elithion	Lithiumate Pro	255	Sim	Completa	Sim	Sim	Distribuído	\$2.100,00
Emus	G1CCGM	16	Sim	Parcial	Sim	Não	Centralizado	\$ 370,00
Stafi Systems	BMS1000M	256	Sim	Completa	Não	Não	Distribuído	\$ 830,00
Sensata	c-BMS24X	240	Sim	Completa	Sim	Não	Centralizado	\$1.740,00
Exponential Power	SBS-EquaLink	125	Sim	Limitado	Não	Sim	Centralizado	\$1.195,00
Lapis	ML5232	14	Sim	Limitado	Não	Não	Centralizado	\$ 270,00
Redarc Electronics	MANAGER30	30	Sim	Limitado	Não	Não	Modular	\$ 115,00

Fonte: O Autor



ANEXO B – REGISTRO DE FUNCIONAMENTO DE GERADORES

MARINHA DO BRASIL  
 NAVIO PATRULHA "GURUPÁ"  
 DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS  
 REGISTRO DE FUNCIONAMENTO DOS GERADORES

Emitido em: 16/08/1988

HORA	GERADOR Nº 1					GERADOR Nº 2					GERADOR Nº 3 (DGE)					RUBRICA				
	AMP	VOLT	KW	HZ	P.O.L	T.A.D	AMP	VOLT	KW	HZ	P.O.L	T.A.D	AMP	VOLT	KW		HZ	P.O.L	T.A.D	
1:00						45	440	25	60	41,5	75									5º 300 (500)
2:00						48	440	30	60	41,5	75									
3:00						45	440	30	60	41,5	75									
4:00						45	440	30	60	41,5	75									
5:00						44	440	26	61	41,9	68									3º 300 (500)
6:00						48	440	30	61	41,9	70									
7:00						50	440	30	61	41,7	72									
8:00						50	440	30	60	41,5	70									
9:00						55	440	40	60	41,8	71									
10:00						55	440	40	61	41,5	73									
11:00						55	440	40	61	41,5	72									
12:00																				
13:00																				
14:00																				
15:00																				
16:00																				
17:00																				
18:00																				
19:00																				
20:00																				
21:00																				
22:00																				
23:00																				
24:00																				

Fonte: MARINHA DO BRASIL, (1988)

## ANEXO C - BALANÇO ELÉTRICO DO NPA CLASSE GRAJAÚ

Ordem	Teste	Procedimentos
1	Simulação de Altitude	Este teste simula as condições de pressão que as baterias podem enfrentar durante o transporte em altitudes elevadas. As baterias são armazenadas a uma pressão de 11,6 kPa ou menos por pelo menos 6 horas a uma temperatura ambiente de $20 \pm 5$ °C
2	Teste Térmico	As baterias são submetidas a ciclos rápidos de variação térmica entre altas ( $75 \pm 2$ °C) e baixas ( $-40 \pm 2$ °C) temperaturas de armazenamento, sendo mantidas por pelo menos 6 horas em cada temperatura, com um intervalo de tempo inferior a 30 minutos entre as mudanças de temperatura.
3	Vibração	As baterias são submetidas a uma vibração sinusoidal com uma varredura logarítmica entre 7 Hz (1 gn de aceleração de pico) e 200 Hz (8 gn de aceleração de pico) e de volta a 7 Hz, repetindo o ciclo 12 vezes em 3 posições de montagem perpendiculares entre si.
4	Choque	As baterias são submetidas a choques de uma onda senoidal de meio ciclo (150 gn de aceleração de pico) e duração de pulso de 6 ms, sendo aplicados 3 choques em cada direção (positiva e negativa) para cada uma das 3 posições de montagem perpendiculares entre si (total de 18 choques).
5	Curto-Circuito Externo	Curto-Circuito Externo: As baterias são submetidas a um curto-circuito com uma resistência externa total inferior a $0,1 \Omega$ a uma temperatura de $55 \pm 2$ °C, com duração de 1 hora.
6	Impacto	Uma barra de 15,8 mm de diâmetro é colocada no centro da célula da bateria, e uma massa de 9,1 kg é solta de uma altura de $61 \pm 2,5$ cm sobre a amostra.
7	Sobrecarga	O teste de sobrecarga é conduzido por 24 horas com uma corrente de carga (duas vezes a máxima recomendada pelo fabricante) e uma tensão de teste mínima, que é definida em duas categorias, dependendo da tensão de carga recomendada.
8	Descarga Forçada	Cada célula é descarregada forçadamente conectando-a em série com uma fonte de alimentação DC de 12 V, com uma corrente inicial igual à corrente de descarga máxima especificada pelo fabricante.

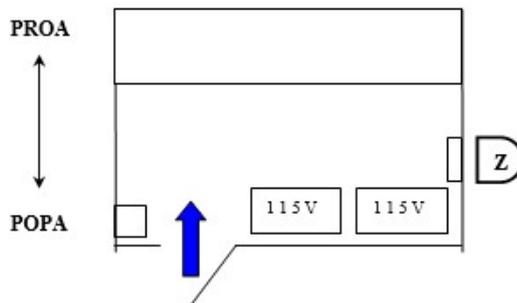
Fonte: UN (2019)

ANEXO D – KILL CARD 004 CIC

NAVIO-PATROLHA GURUPÁ	<b>RISCO DE INCÊNDIO</b> <b>MÉDIO</b>	NOME: CIC
<b>KILL CARD Nº 004</b>		LOCALIZAÇÃO: 1-13-1-C

CONTROLES DAS VENTILAÇÕES			
	MOTOR	CONTROLE	TAMPAS E FLAPS (LOCAL/CLASSIF.)
<b>VENTILAÇÃO</b>	SISTEMA DE AR COND	SISTEMA DE AR COND 1-19-0	TAMPA 01-22-1 R
<b>EXTRAÇÃO</b>	MOTOR EXTRAÇÃO 1-13-1	PAINEL DE CONTROLE 2-18-2	TAMPA 01-18-2 R
<b>VENTILAÇÃO NATURAL (LOCAL/CLASSIF.)</b>	1-VIGIA 1-13-1 Dz		
<b>REMOÇÃO DE FUMAÇA</b>	PROCEDIMENTOS: ATRAVES DE SIROCO		
<b>ACESSÓRIOS PARA ESGOTO</b>	LOCALIZAÇÃO/PROCEDIMENTOS: BOMBA SUBMERSIVEL; BOMBA P-100 BALDE		
<b>OUTROS ACESSÓRIOS DE CAV (LOCAL/CLASSIF.)</b>	PORTA 1-16-1		

**ESQUEMA DO COMPARTIMENTO**



PRECAUÇÕES DE SEGURANÇA			
NO COMPARTIMENTO		ADJACENTES AO COMPARTIMENTO	
		ESTAÇÃO RADIO	
ISOLAMENTO ELÉTRICO		ISOL. MECÂNICO (LOCAL/CLASSIF)	
QEP- Q30 / Q44 / Q39 / Q49 QEA- Q7 / Q8 / Q9 / Q16 QDL-1 - D - 8 QTG - D8		PORTAS ESTANQUE 1-13-1 1-24-4 g 1-24-5 Z PORTA 1-16-2	
EQUIPAMENTOS DE COMBATE A INCENDIO			
DENTRO DO COMPARTIMENTO		FORA DO COMPARTIMENTO	
FIXO	PORTÁTIL	FIXO	PORTÁTIL
	EXTINTOR DE CO2	TOMADA DE INCENDIO 2-14-1 e 1-13-1 1-14-2	EXTINTOR DE CO2 MÁSCARA AUTONOMA DE AR

**COMPARTIMENTOS ADJACENTES**

- ACIMA: PASSADIÇO
- ABAIXO: CAMAROTE IMTO
- BE: COSTADO
- BB: CORREDOR / PRAÇA D'ARMAS
- VANTE: CONVÉS EXTERNO (PROA)
- RÉ: ESTAÇÃO RADIO

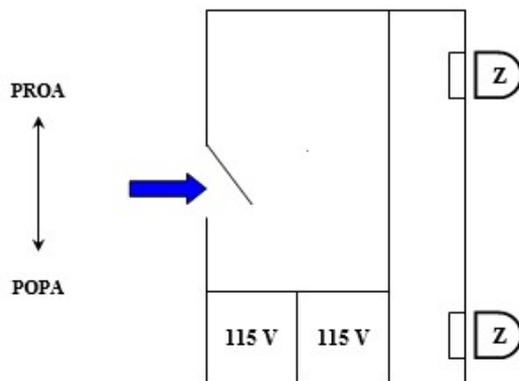
Fonte: MARINHA DO BRASIL (1988)

## ANEXO E – KILL CARD 006 ESTAÇÃO RÁDIO

NAVIO-PATROLHA GURUPÁ	<b>RISCO DE INCÊNDIO</b>	NOME: ESTAÇÃO RÁDIO
<b>KILL CARD Nº 006</b>	<b>MÉDIO</b>	LOCALIZAÇÃO: 1-16-1-C

CONTROLES DAS VENTILAÇÕES				PRECAUÇÕES DE SEGURANÇA			
	MOTOR	CONTROLE	TAMPAS E FLAPS (LOCAL/CLASSIF.)	NO COMPARTIMENTO	ADJACENTES AO COMPARTIMENTO		
VENTILAÇÃO	SISTEMA DE AR COND	SISTEMA DE AR COND 1-19-0	TAMPA 01-22-1 R	EQUIPAMENTOS ELETRONICOS VITAIS (UTILIZAR SOMENTE EXTINTOR DE CO2 SEMPRE QUE POSSÍVEL)	ESCOTERIA CIC		
EXTRAÇÃO	MOTOR EXTRAÇÃO 1-13-1	PAINEL DE CONTROLE 2-18-2	TAMPA 01-18-2 R	ISOLAMENTO ELÉTRICO	ISOL. MECÂNICO (LOCAL/CLASSIF)		
VENTILAÇÃO NATURAL (LOCAL/CLASSIF.)	2-VIGIAS 1-17-1 Dz			QEP- Q30 / Q44 / Q49 QEA- Q9 / Q16 QDL-1 - D8 QTG - D8 / D11	PORTAS ESTANQUE 1-13-1 1-24-4 E 1-24-5 Z		
REMOÇÃO DE FUMAÇA	PROCEDIMENTOS: ATRAVES DE SIROCO			EQUIPAMENTOS DE COMBATE A INCÊNDIO			
ACESSÓRIOS PARA ESGOTO	LOCALIZAÇÃO/PROCEDIMENTOS: BOMBA SUBMERSIVEL; BOMBA P-100 BALDE			DENTRO DO COMPARTIMENTO		FORA DO COMPARTIMENTO	
OUTROS ACESSÓRIOS DE CAV (LOCAL/CLASSIF.)	PORTA 1-17-1			FIXO	PORTÁTIL	FIXO	PORTÁTIL
					EXTINTOR DE CO2	TOMADA DE INCÊNDIO 2-14-2 E 1-13-1	EXTINTOR DE CO2 MASCARA AUTONOMA DE AR

**ESQUEMA DO COMPARTIMENTO  
COMPARTIMENTOS ADJACENTES**



ACIMA: CONVES-01  
 ABAIXO: CAMAROTE IMEDIATO  
 BE: EXTERIOR  
 BB: ESCOTERIA  
 VANTE: CIC  
 RE: COZINHA

Fonte: MARINHA DO BRASIL (1988)