

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CC FERNANDO ZANON BARROSO

**CAPACIDADES E INOVAÇÕES EM MINAGEM E CONTRAMEDIDAS
DE MINAGEM:**

A Tecnologia Aplicada na Guerra de Minas no Século 21.

Rio de Janeiro

2024

CC FERNANDO ZANON BARROSO

**CAPACIDADES E INOVAÇÕES EM MINAGEM E CONTRAMEDIDAS DE
MINAGEM:**

A Tecnologia Aplicada na Guerra de Minas no Século 21.

Dissertação apresentada à Escola de
Guerra Naval, como requisito parcial
para a conclusão do Curso de Estado-
Maior para Oficiais Superiores

Orientador: CMG (RM-1) Marcelo
Ribeiro de Sousa

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval

2024

DECLARAÇÃO DA NÃO EXISTÊNCIA DE APROPRIAÇÃO INTELECTUAL IRREGULAR

Declaro que este trabalho acadêmico: a) corresponde ao resultado de investigação por mim desenvolvida, enquanto discente da Escola de Guerra Naval (EGN); b) é um trabalho original, ou seja, que não foi por mim anteriormente utilizado para fins acadêmicos ou quaisquer outros; c) é inédito, isto é, não foi ainda objeto de publicação; e d) é de minha integral e exclusiva autoria.

Declaro também que tenho ciência de que a utilização de ideias ou palavras de autoria de outrem, sem a devida identificação da fonte, e o uso de recursos de inteligência artificial no processo de escrita constituem grave falta ética, moral, legal e disciplinar. Ademais, assumo o compromisso de que este trabalho possa, a qualquer tempo, ser analisado para verificação de sua originalidade e ineditismo, por meio de ferramentas de detecção de similaridades ou por profissionais qualificados.

Os direitos morais e patrimoniais deste trabalho acadêmico, nos termos da Lei 9.610/1998, pertencem ao seu Autor, sendo vedado o uso comercial sem prévia autorização. É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho, ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos e ideias expressas neste trabalho acadêmico são de responsabilidade do Autor e não retratam qualquer orientação institucional da EGN ou da Marinha do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de manifestar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para o meu êxito nesta jornada:

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por iluminar meu caminho e me conceder a sabedoria necessária para enfrentar os desafios que encontrei ao longo desta trajetória.

À minha querida esposa, Flávia, expresso minha imensa gratidão por ser minha fonte de inspiração, por seu amor inabalável e por dedicar seu tempo valioso à revisão minuciosa de todos os meus trabalhos acadêmicos. Sua compreensão e apoio durante minhas ausências foram essenciais para a conclusão desta etapa.

Às minhas filhas, Fernanda e Manoela, agradeço pela alegria que trouxe à minha vida e pelos constantes momentos de carinho e encorajamento que sempre me motivaram.

À minha família, meus pais, Fernando e Terezinha, meus irmãos Diogo e Tiago, agradeço por me apoiarem desde a infância e por serem pilares fundamentais no meu desenvolvimento e trajetória.

Não posso deixar de expressar minha gratidão ao meu orientador, CMG (RM-1) Marcelo de Sousa, cujas orientações valiosas foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Finalmente, quero agradecer aos colegas das Turmas Dodsworth e Sylvio de Camargo pelo convívio harmonioso e amistoso que compartilhamos, tornando essa jornada ainda mais memorável.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é investigar as capacidades atuais e futuras da Guerra de Minas, comparando-as com práticas internacionais e adaptando-as às inovações tecnológicas do século XXI, a fim de contribuir para a dissuasão contra possíveis adversários. Analisando as doutrinas da Marinha do Brasil e identificando oportunidades e alternativas com base em novas tecnologias, busca conectar conceitos de minagem e contramedidas de minagem à doutrina da Força Naval, garantindo que a Marinha esteja preparada para as demandas futuras. O Brasil conta com uma extensa costa marítima, possuindo uma vasta riqueza em recursos naturais e minerais. A importância estratégica dessa região requer uma Marinha bem equipada para garantir a segurança e dissuasão contra potenciais ameaças. Dividida em cinco capítulos, esta dissertação apresenta uma introdução ao contexto de Guerra de Minas, seguida, no segundo capítulo, por uma análise detalhada da evolução histórica e relevância moderna das minas marítimas. O capítulo três examina os procedimentos específicos de minagem e contramedidas de minagem na Marinha do Brasil e outras marinhas. No capítulo quatro, são abordadas as lacunas nas capacidades atuais e as novas tecnologias e equipamentos necessários para o aprimoramento da Força Naval, além de reflexões sobre os desafios e perspectivas futuras. A necessidade de modernização das capacidades, incorporando tecnologias avançadas e adotando novos conceitos operacionais é evidenciada ao final, concluindo que, para proteger a soberania e os interesses nacionais, a Marinha do Brasil deve investir em veículos autônomos e sistemas não tripulados, alinhando-se às práticas de marinhas de referência global. A análise oferece uma visão ampla das doutrinas vigentes, oportunidades baseadas em novas tecnologias e a integração de conceitos de minagem e contramedidas de minagem, garantindo a preparação adequada da instituição para enfrentar demandas contemporâneas e futuras.

Palavras-chave: Guerra de Minas. Minagem. Contramedidas de Minagem. Tecnologia Naval. Segurança Marítima. Dissuasão. Veículos Autônomos. Inovações Tecnológicas. Estratégia Naval.

ABSTRACT

Capabilities and Technological Innovations in Mining and Mine Countermeasures

This paper aims to investigate the current and future capabilities of Mine Warfare, comparing them with international practices and adapting them to the technological innovations of the 21st century, in order to contribute to the deterrence of potential adversaries. By analyzing the doctrines of the Brazilian Navy and identifying opportunities and alternatives based on new technologies, it seeks to connect concepts of mining and mine countermeasures to the Naval Force doctrine, ensuring that the Navy is prepared for future demands. Brazil has an extensive maritime coast, possessing vast wealth in natural and mineral resources. The strategic importance of this region requires a well-equipped Navy to ensure security and deterrence against potential threats. Divided into five chapters, this dissertation begins with an introduction to the context of Mine Warfare, followed in the second chapter by a detailed analysis of the historical evolution and modern relevance of naval mines. Chapter three examines the specific procedures of mining and mine countermeasures in the Brazilian Navy and other navies. In Chapter four, the gaps in current capabilities and the new technologies and equipment necessary for the improvement of the Naval Force is addressed, in addition to reflections on the challenges and future perspectives. The need for modernization of capabilities, incorporating advanced technologies and adopting new operational concepts, is highlighted in the conclusion, asserting that, to protect national sovereignty and interests, the Brazilian Navy must invest in autonomous vehicles and unmanned systems, aligning with the practices of globally referenced navies. The analysis offers a broad view of current doctrines, opportunities based on new technologies, and the integration of mining and mine countermeasure concepts, ensuring the institution's adequate preparation to face contemporary and future demands.

Keywords: Mine Warfare. Mining. Mine Countermeasures. Naval Technology. Maritime Security. Deterrence. Autonomous Vehicles. Technological Innovations. Naval Strategy.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANT	-	Aeronave Não Tripulada
AJB	-	Águas Jurisdicionais Brasileiras
CMM	-	Contramedidas de Minagem
DICA	-	Direito Internacional dos Conflitos Armados
DMN	-	Doutrina Militar Naval
EUA	-	Estados Unidos da América
GM	-	Guerra de Minas
LCM	-	Linhas de Comunicação Marítimas
MB	-	Marinha do Brasil
NCM	-	Navio Caça-Minas
NV	-	Navio-Varredor
VRO	-	Veículo Remotamente Operado
VSNT	-	Veículos de Superfície não Tripulados
UUV	-	<i>Unmanned Underwater Vehicles</i> - Veículos Subaquáticos não Tripulados

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	A GUERRA DE MINAS E A SUA RELEVÂNCIA NO CONTEXTO NAVAL MODERNO.....	11
2.1	DEFINIÇÕES TEÓRICAS E CONCEITOS DOUTRINÁRIOS.....	12
2.2	A EVOLUÇÃO DAS OPERAÇÕES DE MINAGEM E CMM NA HISTÓRIA.....	15
3	FUNDAMENTOS ESPECÍFICOS, MAGNETISMO E FATORES AMBIENTAIS NA MINAGEM E CMM.....	20
3.1	TIPOS DE MINAS E CONCEITOS ESPECÍFICOS NA MINAGEM E CMM	20
3.2	A INFLUÊNCIA DO MAGNETISMO	24
3.3	FATORES AMBIENTAIS	25
4	CAPACIDADES ATUAIS, NOVAS TECNOLOGIAS E SOLUÇÕES	28
4.1	CAPACIDADES ATUAIS DE MINAGEM E CMM NA MB.....	28
4.2	MEIOS, TECNOLOGIAS, EQUIPAMENTOS E SOLUÇÕES NAS PRINCIPAIS MARINHAS DE REFERÊNCIA	30
4.2.1	Marinha dos Estados Unidos da América	30
4.2.2	Marinha do Reino Unido.....	32
4.2.3	Marinha da França	34
4.2.4	Marinha dos Países Baixos, Bélgica, Polônia e Itália.....	34
4.2.5	Marinha da Indonésia e da Alemanha.....	36
4.2.6	Marinha da Noruega.....	37
4.3	VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS.....	38
4.4	REQUISITOS PARA FUTURAS ALTERNATIVAS NA GUERRA DE MINAS	41
4.5	SOLUÇÕES CONCEITUAIS PARA A MARINHA DO BRASIL	43
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Com 7,4 mil quilômetros de costa, o Brasil possui, aproximadamente, 3,5 milhões de quilômetros quadrados de espaço marítimo sob sua jurisdição. Esta vasta área, exclusiva para exploração econômica pelo Brasil, é denominada Amazônia Azul¹ devido à sua riqueza em recursos naturais e minerais, comparável à importância da floresta amazônica para o país.

Embora o Brasil esteja em uma área teoricamente livre de grandes conflitos e atue no cenário internacional com legitimidade conferida por Organizações Internacionais Governamentais, a história demonstra que a posse de recursos valiosos suscita a cobiça de outros atores, gerando uma situação de insegurança. Nesse contexto, é importante que a nação disponha de meios de poder para alcançar a dissuasão contra qualquer concentração de forças hostis nas águas de interesse nacional. Portanto, uma Marinha bem equipada, treinada e preparada para vigiar as Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB)² inspira respeito e torna menos prováveis ações hostis e agressões.

O objetivo deste trabalho é examinar as capacidades atuais e futuras da Guerra de Minas (GM) para a Marinha do Brasil (MB), comparando-as com o existente no cenário internacional e ajustando-as às inovações tecnológicas do século XXI, visando a contribuir para a dissuasão contra possíveis adversários.

A relevância deste estudo reside na oportunidade de analisar as doutrinas em vigor na Marinha do Brasil, identificando oportunidades e opções com base em novas tecnologias, desafios e alternativas. Além disso, busca-se, por meio de pesquisa e compilação bibliográfica, conectar conceitos relacionados à minagem e contramedidas de minagem (CMM) à doutrina de emprego da Força Naval, assegurando que a Marinha esteja adequadamente preparada para enfrentar as demandas contemporâneas e futuras.

Para tal, esta dissertação está dividida em cinco capítulos, começando com esta introdução.

O capítulo dois abordará algumas considerações iniciais sobre a GM e a sua relevância no contexto naval moderno, apresentando algumas definições básicas e conceitos doutrinários, complementando com uma exposição da evolução da minagem e contramedidas de minagem na história dos conflitos.

¹ Amazônia Azul® é a região que compreende a superfície do mar, águas sobrejacentes ao leito do mar, solo e subsolo marinhos contidos na extensão atlântica que se projeta a partir do litoral até o limite exterior da Plataforma Continental brasileira (Brasil, 2023a).

² Águas Jurisdicionais Brasileiras compreendem as águas interiores e os espaços marítimos brasileiros nos quais o Brasil exerce jurisdição, em algum grau, sobre atividades, pessoas, instalações, embarcações e recursos naturais vivos e não vivos, encontrados na massa líquida, no leito ou no subsolo marinho, para os fins de controle e fiscalização, dentro dos limites da legislação nacional e internacional (Brasil, 2023a).

O Capítulo três apresenta conceitos, definições e procedimentos específicos sobre as operações de minagem e as CMM na MB e demais marinhas, importantes para as análises subsequentes.

O Capítulo quatro, abordará lacunas e deficiências nas capacidades atuais, novas tecnologias, equipamentos e soluções para o reaparelhamento da MB com meios passíveis de serem empregados contra minas navais. Apresentará, ainda, uma reflexão sobre o estado atual, os desafios e perspectivas futuras para a Força Naval no âmbito da GM.

Por fim, no Capítulo cinco é apresentada a conclusão deste trabalho.

2 A GUERRA DE MINAS E A SUA RELEVÂNCIA NO CONTEXTO NAVAL MODERNO

A GM é uma atividade naval que remonta a séculos passados, quando as primeiras minas marítimas foram utilizadas para defender portos amigos e bloquear portos inimigos. Hoje, essa prática evoluiu para uma forma de combate altamente sofisticada, com tecnologias avançadas e táticas complexas. Apesar de sua importância estratégica e do impacto devastador que pode causar, a GM permanece relativamente obscura na mídia especializada. Ao contrário das operações de grande visibilidade que empregam porta-aviões, fragatas e submarinos, a GM opera nas sombras, mas seu poder e eficácia são inegáveis (Vogt, 2019).

A invisibilidade relativa desse tema nas discussões públicas e acadêmicas é preocupante, considerando especialmente as consequências gravíssimas que as minas podem impor a um país atacado. Minas marítimas são armamentos perigosos, escondidos sob a superfície do mar, prontos para causar danos devastadores a navios que inadvertidamente se aproximem. A sua capacidade de infligir destruição não se limita apenas à perda de embarcações; as minas têm o potencial de desorganizar e paralisar a economia de um país, interrompendo linhas de suprimento marítimo e bloqueando portos vitais. Por essas razões, a GM deve ser especialmente temida e respeitada como uma componente central da estratégia naval (Vogt, 2019).

Em função das limitações orçamentárias de defesa que muitos países enfrentam atualmente, embora o custo de produção e implantação de minas seja, geralmente, mais baixo do que o de outras armas e munições navais, as prioridades de investimento em defesa frequentemente favorecem sistemas de armas mais visíveis e politicamente atraentes (Vogt, 2019). Como exemplo, o orçamento destinado pela marinha norte-americana à GM, quando comparado às outras principais áreas setoriais, era consideravelmente menor, como citado em um relatório elaborado por conselho especializado, sendo o mesmo observado em relação ao investimento em outras munições de ataque (Committee for Mine Warfare Assessment, 2001).

Apesar dessa negligência, a eficácia das minas não pode ser subestimada. Ao longo da história, as minas marítimas exerceram um impacto significativo, tanto militar quanto econômico, influenciando a estratégia naval e o comércio global. Desde a Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945), elas danificaram ou afundaram mais de quatro vezes o número de navios em comparação com qualquer outra ameaça (Archambault et al., 2017). Isso destaca a sua letalidade e a capacidade de influenciar significativamente o rumo das operações navais. Um campo minado bem posicionado pode transformar completamente o quadro estratégico de uma guerra, impondo restrições severas à movimentação naval do inimigo e demandando enormes recursos para a sua neutralização (Vogt, 2019).

O impacto estratégico de um campo minado é vasto. Ao ser detectada a presença de minas, a nação “ameaçada” é obrigada a despender consideráveis meios e recursos para mitigar, pelo menos parcialmente, as suas consequências. Isso inclui a mobilização de navios varredores (NV) de minas, equipamentos de detecção avançada e, muitas vezes, a necessidade de reavaliar completamente as rotas e estratégias de navegação. A complexidade da remoção de minas aumenta ainda mais quando consideramos que elas podem ser implantadas em águas profundas, rasas, ou até mesmo em portos e estuários, cada local exigindo técnicas e tecnologias diferentes para sua desativação (Archambault et al., 2017).

Além disso, a natureza psicológica da GM não deve ser subestimada. A mera possibilidade da presença de minas em uma área pode ter um efeito paralisante sobre as operações navais e comerciais. A incerteza e o medo de navegar em áreas potencialmente minadas podem causar atrasos significativos, aumentando os custos operacionais e logísticos. Este efeito de “dissuasão passiva” pode ser tão eficaz quanto a destruição física de navios, representando uma forma silenciosa, mas poderosa, de guerra econômica e psicológica (Senna, 2011).

A GM, portanto, representa um paradoxo no contexto naval moderno: uma arma barata e eficaz que recebe relativamente pouca atenção e investimento. A sua capacidade de causar danos devastadores e alterar o equilíbrio estratégico de uma guerra sublinha a necessidade de maior visibilidade e discussão sobre este tema. As nações devem reconhecer a importância das minas marítimas e investir adequadamente em tecnologias e estratégias para a sua detecção e neutralização.

2.1 DEFINIÇÕES TEÓRICAS E CONCEITOS DOUTRINÁRIOS

O Poder Naval deve ser capaz de realizar seis Tarefas Básicas, dentre as quais Negar o uso do mar, que se trata do “conjunto de operações e ações que congregam capacidades que têm por objetivo impedir o uso de uma região marítima prioritária por forças antagônicas” (Brasil, 2023). Para cumprir essa tarefa, podem ser realizadas diversas operações, incluindo as operações de minagem. Os efeitos desejados incluem a destruição ou neutralização das forças inimigas, ataques às linhas de comunicação marítima (LCM) adversárias e a conquista de áreas terrestres estratégicas que permitam a instalação de bases de apoio para proteger nossas LCM (Brasil, 2017b).

Conforme o explicitado no parágrafo anterior, para fins de especificação de nomenclatura utilizada neste estudo, a DMN (2017, p. A-22) define Operações de Minagem como uma “operação que consiste no lançamento criterioso de minas em áreas

selecionadas, a fim de destruir navios ou meios terrestres inimigos ou ainda, pela ameaça que representa, para conter, limitar ou retardar o seu trânsito.”

A operação de minagem envolve o lançamento de minas em áreas selecionadas para destruir navios, ou para, através da ameaça, conter, limitar ou retardar seu trânsito. Tradicionalmente está associada ao conceito de desgaste, visando enfraquecer as forças inimigas. Campos minados ofensivos são planejados e executados em águas controladas pelo inimigo, enquanto os defensivos são implantados em áreas controladas por quem as planta (Brasil, 2017b).

Por outro lado, a fim de se contrapor à minagem inimiga, a DMN (2017, p. A-21) define Operações de Contramedidas de Minagem como uma “operação que consiste na execução de ações ativas e passivas que visem a reduzir ou controlar a ameaça constituída pelas minas já lançadas pelo inimigo”. O efeito desejado é garantir o trânsito de navios de guerra e mercantes, especialmente em áreas marítimas de passagem obrigatória ou nas entradas e saídas de portos ou bases navais. As CMM podem ser ofensivas ou defensivas. As ofensivas envolvem ataques aos agentes que lançam as minas, enquanto as defensivas incluem contramedidas ativas, como varredura e caça de minas, e contramedidas passivas, que englobam medidas de autoproteção dos próprios meios navais (Brasil, 2017b).

A doutrina norte-americana para operações conjuntas, por meio da publicação JP 3-15 - *Barriers, Obstacles, and Mine Warfare for Joint Operations*, define os objetivos relacionados às missões de CMM. O primeiro objetivo é Exploratório, objetivando determinar se há minas presentes. O segundo objetivo é o Reconhecimento, visando realizar uma avaliação rápida dos limites da área minada, tipos de minas e quantidades. Seguindo o terceiro objetivo, Avanço, almejando abrir canais e áreas de preparação para operações anfíbias ou entrada e/ou saída de um porto. O quarto objetivo é o Atrito que tem por propósito realizar esforços contínuos ou frequentes para minimizar a ameaça de minas ao tráfego marítimo. O quinto e último objetivo, Desobstrução, intenciona remover todas as minas das áreas designadas (Joint Chiefs of Staff, 2018).

No estudo realizado para esta dissertação, não foi identificada uma definição doutrinária específica para a GM pela MB. No entanto, a Marinha norte-americana, usualmente, adota nomenclaturas e termos que incluem as medidas ofensivas, defensivas e de proteção, disponíveis para o lançamento e para a contraposição às minas marítimas.

A mina marítima é uma arma de baixo custo e alta eficácia, capaz de ser utilizada de modos distintos para atingir objetivos estratégicos ou táticos. Essas minas podem ser empregadas em pequenas quantidades, visando a afundar navios específicos, ou em abundância para bloquear portos e impedir o acesso a áreas marítimas por parte de um adversário. Sua utilização é viável em todos os níveis de conflito, especialmente nas fases iniciais, onde é possível exercer pressão política sem o risco imediato de retaliação em

maior escala. Além disso, as minas podem ser lançadas em sigilo e sem aviso por aeronaves, submarinos e embarcações de superfície (Sea Power Centre, 2004).

A Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) define as minas navais como “um dispositivo explosivo colocado na água, no fundo do mar ou no seu subsolo, com a intenção de danificar ou afundar navios, ou de dissuadir meios de entrar numa área” (The Royal Institute of International Affairs, 2014). Por outras palavras, as minas navais são concebidas para destruir ou danificar navios, embora, mais frequentemente, a sua utilização se destine a negar ao inimigo o acesso a áreas operacionalmente significativas.

Devido ao seu baixo custo e alta eficiência, as minas marítimas oferecem uma capacidade destrutiva que está ao alcance de países economicamente limitados e grupos não governamentais, permitindo-lhes operar com um impacto desproporcional ao investimento necessário. Isso torna as minas uma opção viável e potente para aqueles que precisam maximizar sua capacidade militar sem despende grandes recursos financeiros (Sea Power Centre, 2004).

Na Marinha dos Estados Unidos, um dos princípios mais reverenciados do teórico naval Alfred Thayer Mahan é a premissa de que a conquista da vitória em conflitos armados está intrinsecamente ligada ao controle das comunicações marítimas. Uma das estratégias empregadas para interromper o tráfego marítimo tem sido o bloqueio, uma missão que pode ser alcançada por meio do uso de minas marítimas. No entanto, ao longo de séculos, os comandantes têm desprezado a utilização da GM, sendo que até mesmo Mahan³ considerava as minas como armas típicas de potências de menor expressão (Chillstrom, 1992).

O elevado potencial das minas marítimas para causar efeitos indiscriminados levanta a necessidade de regulamentação específica por parte do Direito Internacional dos Conflitos Armados (DICA), a qual se encontra estipulada na VIII Convenção de Haia, datada de 1907. O propósito das normas constituídas é garantir a segurança do tráfego marítimo inocente, ou seja, a proteção dos navios pertencentes a estados não beligerantes ou neutros (Brasil, 2017a).

Por exemplo, de acordo com esta Convenção, as minas devem ser construídas de forma que se tornem inofensivas caso se soltem de suas amarras ou escapem do controle efetivo do Estado que as lançou. Além disso, há a obrigatoriedade de que as empresas marítimas e todos os proprietários de navios sejam prontamente alertados sobre a presença de minas, assim que as exigências militares o permitam (International Institute of Humanitarian Law, 1995).

³ Alfred Thayer Mahan, nascido em 27 de setembro de 1840, West Point, Nova York, EUA - falecido em 1 de dezembro de 1914, Quogue, Nova York foi um oficial naval e historiador americano que foi um expoente altamente influente do poder marítimo no final do século XIX e início do século XX (Britannica, 2024).

Com o propósito de verificar como foram aplicados ao longo da história os conceitos teóricos apresentados e como as nações recorreram às possibilidades e oportunidades oferecidas pela minagem e CMM, será realizada, a seguir, uma abordagem histórica de alguns conflitos e guerras envolvendo a aplicação prática das minas navais e as suas consequências.

2.2 A EVOLUÇÃO DAS OPERAÇÕES DE MINAGEM E CMM NA HISTÓRIA

As minas navais representam uma arma de baixo custo, porém de grande valor tático, operacional e estratégico, reconhecida há séculos. Sua origem se remete à dinastia Ming, no século XVI, quando o primeiro artefato foi desenvolvido para combater a pirataria na região costeira da China. Embora tenham sido utilizadas durante a Guerra Civil Americana (1861 a 1865), foi na Guerra Russo-Japonesa (1904-1905) que as minas navais ganharam ampla aplicação. Milhares delas foram espalhadas pelos portos do leste da Rússia, impondo custos significativos às frotas navais dos beligerantes. No entanto, a utilização indiscriminada dessas minas resultou em danos consideráveis à navegação comercial, afetando negativamente também a população civil durante e após o conflito (The Royal Institute of International Affairs, 2014).

No decorrer da Primeira Guerra Mundial (1914 a 1918), as minas navais desempenharam um papel crucial na defesa das apertadas passagens dos Dardanelos, estreito da atual Turquia e uma rota marítima estratégica vital entre o Mar Egeu e o Mar de Mármara, então controlada pelo Império Otomano. Serviram como uma barreira defensiva eficaz contra as forças navais Aliadas, dificultando o avanço de navios de guerra e transportes inimigos. A presença dessas minas tornou a navegação na região extremamente perigosa, forçando os Aliados a adotarem abordagens mais cautelosas e demoradas (Golda, 1998).

A ameaça representada pelas minas dissuadiu ações mais agressivas por parte das forças navais Aliadas. A incerteza sobre a localização e a quantidade de minas colocadas pelo Império Otomano obrigou os Aliados a gastarem consideráveis recursos e tempo em operações de varredura e neutralização de minas (Meacham, 1967).

A estratégia de minagem empregada pelos otomanos, com apoio de conselheiros militares alemães, envolveu a instalação meticulosa de diversas linhas de minas em áreas críticas dos Dardanelos. Utilizando uma combinação de diferentes tipos de minas, muitas das quais equipadas com dispositivos de detonação sensíveis à pressão ou ao movimento de navios, os otomanos conseguiram maximizar o potencial destrutivo dessa arma (Meacham, 1967).

Um dos momentos mais críticos da campanha ocorreu em 18 de março de 1915, quando uma tentativa de forçar a passagem pelos Dardanelos resultou em graves perdas. Vários navios de guerra, incluindo os britânicos HMS⁴ “Irresistible” e HMS “Ocean” e, ainda, o Encouraçado francês “Bouvet”, foram danificados ou afundados por minas otomanas, causando um revés significativo para a frota Aliada e a perda de vidas de tripulantes. Este evento demonstrou a letalidade das minas navais e levou os Aliados a reavaliarem as suas estratégias, culminando na decisão de lançar a desastrosa campanha terrestre em Galípoli. A GM navais, portanto, não só protegeu eficazmente as águas otomanas, como também influenciou decisivamente o curso das operações militares na região, sublinhando a importância das defesas passivas em conflitos navais (Golda, 1998).

Ainda durante a Primeira Guerra Mundial, o emprego de minas navais no Mar do Norte teve um impacto estratégico significativo, com a Alemanha e o Reino Unido utilizando extensivamente essa arma para a defesa e o ataque. A Marinha Imperial Alemã protegia suas costas e portos com minas, ao mesmo tempo, em que estabelecia campos minados nas rotas de navegação britânicas. Por sua vez, a Marinha Real Britânica implementou campos de minas defensivos ao longo de suas costas e formou uma barreira marítima no Mar do Norte, conhecida como o “bloqueio do Mar do Norte” (Meacham, 1967).

Foram estabelecidos campos no Estreito de Dover⁵ para impedir a passagem de submarinos e navios de guerra alemães para o Atlântico. A eficácia das minas navais foi destacada por eventos como o afundamento do submarino alemão UB-56, com a perda de todos os tripulantes, demonstrando a letalidade das minas (Meacham, 1967).

No decorrer da Segunda Guerra Mundial, o emprego extensivo de minas marítimas demonstrou a sua eficácia como arma de combate, resultando em perdas significativas para ambas as partes envolvidas no conflito. Estima-se que cerca de 810.000 minas tenham sido lançadas pelos beligerantes, levando ao afundamento de aproximadamente 2.700 navios. A Alemanha, por exemplo, enfrentou a perda de 27 submarinos devido a minas aliadas (Senna, 2011).

Nos últimos cinco meses da Segunda Guerra Mundial, mais de 1.250.000 toneladas de embarcações foram afundadas ou danificadas devido a uma campanha de minagem aérea contra o Japão, conhecida como Operação *Starvation*. Esta operação visou a impedir a importação de matérias-primas e alimentos para o Japão, restringir o abastecimento e movimentação das forças militares e interromper a navegação nas águas interiores. Foram realizadas 46 missões para bloquear o Estreito de Shimonoseki, por onde passava 80% da frota mercante japonesa, além dos portos industriais e comerciais de Tóquio e Nagoya, e

⁴ HMS - His Majesty's Ship – Navio de Sua Majestade (tradução nossa).

⁵ Estreito de Dover é um corpo de água que separa a Inglaterra a noroeste da França a sudeste, ligando o Canal da Mancha ao sudoeste com o Mar do Norte ao nordeste. Sua largura varia entre 18 e 25 milhas (30 a 40 km), e sua profundidade varia de 120 a 180 pés (35 a 55 metros) (Britannica, 2024).

os portos entre a Coreia e o Japão. Ao longo da guerra, a colocação de minas navais resultou no afundamento ou dano de mais de 2 milhões de toneladas de embarcações inimigas, representando quase um quarto da força mercante japonesa pré-guerra. Antes da Operação *Starvation*, uma campanha de minagem foi realizada em águas inimigas, onde submarinos, navios de superfície e aeronaves colocaram cerca de 13.000 minas em portos e rotas de navegação (Mason, 2002).

As minas causaram mais danos à navegação japonesa do que qualquer outro agente, incluindo submarinos e ataques aéreos diretos. Importantes portos industriais foram quase completamente bloqueados, resultando em centenas de navios atrasados, afundados ou danificados. Suprimentos vitais foram desviados para outros portos, onde permaneceram, aguardando transporte em um sistema já sobrecarregado. Especialistas japoneses reconheceram o grande impacto estratégico da GM norte-americana, que interrompeu comunicações, cortou suprimentos de alimentos e matérias-primas, e forçou o abandono de planos militares japoneses (Mason, 2002).

Durante a Guerra da Coreia, no desembarque de tropas norte-americanas em Wonsan, os norte-coreanos lançaram cerca de 3.000 minas, bloqueando o acesso das Forças dos Estados Unidos da América (EUA) ao litoral. Os esforços para a retirada das minas da área foram significativos, mas resultaram na remoção de apenas 225 minas e tiveram um custo elevado: quatro navios varredores e um rebocador americanos foram afundados, e cinco contratorpedeiros ficaram gravemente danificados. Além disso, a Coreia do Sul perdeu dois navios, um varredor e um rebocador, e vários outros navios sofreram avarias significativas (Senna, 2011).

Devido à ameaça das minas que causou a perda de 200 vidas, a operação anfíbia foi atrasada por oito dias até que a área fosse considerada minimamente segura. Este evento demonstrou a perda do controle do mar pelos norte-americanos para uma nação com uma insignificante marinha, utilizando armamento ultrapassado e despendido por embarcações obsoletas (Ball, 1992).

Na Guerra do Golfo (1990 a 1991), a mina marítima provou novamente a sua eficácia. Utilizada por Saddam Hussein, essa arma foi diretamente responsável pelos danos sofridos pelos navios USS "Tripoli", USS "Princeton" e USS "Samuel Roberts", da marinha estadunidense. Após um extenso esforço de varredura, que resultou na perda de vidas e na incapacitação de dois navios significativos, apenas 191 minas foram neutralizadas até o final do conflito (Peniston, 2006).

No período pós-guerra, as operações de varredura puderam ser realizadas sem a ameaça de ataques e com os meios mais modernos disponíveis à época. Contudo, apenas metade das minas plantadas puderam ser removidas. Este episódio sublinha a eficácia das

minas marítimas como armas defensivas e a dificuldade de neutralizá-las, mesmo com tecnologia avançada e em condições operacionais ideais (Senna, 2011).

A Operação *Unified Protection*, conduzida pela OTAN, em 2011, na Líbia, tinha como objetivo a proteção de civis e de povoados ameaçados de ataques. Em 30 de abril, uma corveta francesa da OTAN testemunhou pequenas embarcações lançando três minas marítimas, a cerca de duas milhas náuticas da costa, próximo ao porto de Misrata. Devido à ausência de CMM na área, a única reação possível foi fechar o porto, interrompendo o fluxo logístico de ajuda humanitária. Posteriormente, duas minas foram localizadas e neutralizadas, porém uma terceira mina não foi encontrada, representando um perigo para o tráfego marítimo local e aumentando a complexidade e os custos da operação. A OTAN subestimou o uso de minas pelas forças aliadas ao governo líbio e isto se revelou uma falha crítica na estratégia operacional (Senna, 2011).

Desde o início do conflito entre a Rússia e a Ucrânia, em fevereiro de 2022, uma série de incidentes envolvendo a presença de minas navais ocorreram, com ambos os Estados se acusando mutuamente da responsabilidade pelos artefatos.

Em março de 2022, três minas foram encontradas em águas próximas à Romênia e Turquia, sendo neutralizada uma delas no Mar Negro. Foram conduzidas operações de limpeza na costa romena após os incidentes e navios foram aconselhados a aumentar a vigilância e comunicações devido ao risco crescente, especialmente para embarcações menores (Euronews, 2022). Ainda em março do mesmo ano, a Rússia alertou que as minas colocadas pelos ucranianos no Mar Negro poderiam se deslocar até o Estreito de Bósforo e o Mar Mediterrâneo (Poder Naval, 2022).

Nesse mesmo mês, militares turcos detonaram uma mina russa que chegou à deriva da Ucrânia até a costa turca, desencadeando uma explosão ao norte de Istambul (Pinheiro, 2022). Em junho, militares ucranianos desarmaram uma mina marítima em Odessa, uma cidade portuária que era frequentemente visitada por banhistas antes da invasão russa (Ferraz, 2022). Ainda na Ucrânia, uma mina submarina explodiu na praia de Odessa, em agosto, resultando na morte de dois banhistas que estavam nadando no mar no momento da explosão (Valente, 2022).

A crise alimentar global foi agravada pela guerra russo-ucraniana uma vez que o transporte de grãos da Ucrânia foi afetado pela presença de centenas de minas no Mar Negro. Kiev e líderes ocidentais acusaram Moscou de minar o Mar Negro, bloqueando os portos ucranianos e atrasando as remessas de alimentos (Saul, 2022).

Em abril de 2023, as praias ucranianas foram fechadas ao público devido ao risco de minas (Contacto, 2023). Um navio civil, com bandeira do Panamá, em dezembro de 2023, atingiu uma mina flutuante nos portos ucranianos do Danúbio, resultando em perda de velocidade, de controle e um incêndio no convés superior, ferindo dois marinheiros. Este

incidente seguiu relatos anteriores de navios civis danificados por minas russas na área (A Referência, 2023).

A Turquia se recusou, em janeiro de 2024, a permitir a passagem de navios caçaminas do Reino Unido para apoiar a Ucrânia através de suas águas, citando violações de pactos internacionais em tempos de guerra (Poder Naval, 2024).

Os dados históricos de diferentes guerras e conflitos demonstram que as minas, apesar de serem empregadas há muito tempo, mantêm as suas características essenciais: baixo custo, capazes de causar danos desproporcionais, fáceis de lançar e difíceis de remover. Elas dificultam significativamente qualquer operação naval, aumentando instantaneamente o risco, o custo operacional e causando atrasos consideráveis no planejamento.

Além do impacto direto do afundamento de navios e perdas de vidas humanas, as minas geram um efeito indireto importante: criam incertezas que podem paralisar as operações. Entretanto, a ausência do emprego de minas pode permitir ao inimigo uma liberdade de manobra indesejada.

3 FUNDAMENTOS ESPECÍFICOS, MAGNETISMO E FATORES AMBIENTAIS NA MINAGEM E CMM

Desde a criação da mina naval, as grandes marinhas têm se preocupado com a defesa contra essa arma. A mina naval evoluiu de um dispositivo rudimentar para sistemas extremamente complexos, especialmente após a Segunda Guerra Mundial. Atualmente, existem cerca de 300 tipos diferentes de minas, variando desde as mais simples, que reagem ao contato direto, até as mais sofisticadas, equipadas com sensores magnéticos, acústicos e de pressão hidrostática (Vogt, 2019).

As minas podem ser de baixo custo, de fácil aquisição, confiáveis, eficazes e difíceis de serem rastreadas por agências de inteligência. Dezenas de estados possuem a capacidade de plantar minas, enquanto um número significativo de países exportadores estão ativamente envolvidos no desenvolvimento e fabricação de novos modelos. Embora muitas dessas minas estando armazenadas por longos períodos, sejam relativamente antigas, elas ainda são mortais e frequentemente podem ser modernizadas (Joint Chiefs of Staff, 2018).

3.1 TIPOS DE MINAS E CONCEITOS ESPECÍFICOS NA MINAGEM E CMM

Vogt (2019) afirma, em seu artigo intitulado “Guerra de Minas”, que o avanço tecnológico, particularmente na área da microeletrônica, permitiu o desenvolvimento de sistemas que utilizam inteligência artificial (IA) para reconhecer assinaturas magnéticas, acústicas e de pressão predefinidas, podendo contar a passagem de navios e detonar após um número específico, utilizando algoritmos para gerenciar várias situações. A miniaturização e os progressos na eletrônica resultaram na criação de minas móveis e inteligentes, que funcionam como veículos subaquáticos não tripulados (UUV)⁶, podendo mudar de posição autonomamente, seja por comando remoto ou por programação prévia, demonstrando a sofisticação alcançada na GM navais.

Segundo o Manual de Direito Internacional Aplicado às Operações (Brasil, 2017a), as minas navais podem ser classificadas, quanto ao controle, em minas independentes e minas controladas. As minas independentes são lançadas com os seus dispositivos de segurança desativados ou são armadas logo após a implantação, ficando prontas para detonar assim que os parâmetros pré-selecionados sejam atendidos. Em contraste, as minas controladas não possuem poder destrutivo após o lançamento e permanecem inertes

⁶ UUV – “Unmanned Underwater Vehicle”, ou veículo subaquático não tripulado, que pode ser autônomo ou guiado remotamente (Vogt, 2019).

até serem ativadas por um meio externo, momento em que passam a operar como minas independentes.

Apesar da grande variedade de tipos e modelos de minas, todas podem ser classificadas em duas categorias principais: minas de contato e minas de influência. Essas categorias diferem na maneira como a mina é ativada: as minas de contato são detonadas ao entrarem em contato com o navio, enquanto as minas de influência são acionadas pela detecção da presença de um navio nas proximidades (Archambault et al., 2017).

Os dispositivos de contato são, provavelmente, o tipo de mina naval mais conhecido e, também, as mais baratas de adquirir, altamente confiáveis e eficazes, razão pela qual se proliferaram amplamente em todo o mundo. Esses artefatos utilizam vários espigões que contêm um vaso de vidro cheio de uma solução eletrolítica que, quando quebrado, como no caso de um navio que se choca com a mesma, cria a corrente elétrica necessária para detoná-la. A simplicidade dessas armas as tornam bastante consistentes e sua longa vida útil demonstra a eficácia desse modelo comprovado (Archambault et al., 2017).

Podemos atribuir outra especificação para os dispositivos explosivos marítimos em questão. Os artefatos de fundeio podem flutuar positivamente, presos ao fundo, mantendo-se em uma posição pré-determinada abaixo da superfície do mar, e podem ser lançados em profundidades de até 300 m ou mais. As minas de fundo são negativamente flutuantes, repousando no leito do mar, sendo lançadas em profundidades superiores a 200 m (Arthur, 2010).

As minas derivantes podem ser implantadas em qualquer profundidade. Após o lançamento, o estado que as lançou, geralmente, não tem controle sobre elas, pois se movem com as correntes ou condições climáticas predominantes. Por isso, apresentam maior risco de danificar alvos não intencionais, incluindo navios do próprio Estado lançador.

O Manual de San Remo sobre o Direito Internacional Aplicável aos Conflitos Armados no Mar, de 12 de junho de 1994, estabeleceu em seu Artigo 82, a proibição do uso de minas flutuantes livres, a menos que sejam direcionadas contra um objetivo militar e que se tornem inofensivas em uma hora após a perda de controle sobre elas (International Institute of Humanitarian Law, 1995). Embora tenham sido restritas por normas internacionais, as minas de contato derivantes continuam a ser uma ameaça para as marinhas, atualmente.

Seguindo correntes, ação das ondas e fluxos de rios, essas minas são imprevisíveis, podendo ser altamente eficazes em áreas onde há a possibilidade de serem levadas para um porto, por meio dos deslocamentos naturais de água da região. Adicionalmente, minas de fundeio podem se tornar minas derivantes após se separarem de seus dispositivos de fundeio (Archambault et al., 2017).

Podemos encontrar minas controladas remotamente, tecnologicamente avançadas, que podem ser desativadas e reativadas por sinais acústicos codificados. Há, ainda, minas

móveis lançadas por submarinos que operam de maneira semelhante às minas de fundo, mas são colocadas no leito do mar por meio de um torpedo. São projetadas para áreas-alvo de difícil acesso, incluindo portos interiores, docas e rios. Além desses tipos, há, também, as minas ascendentes, que são minas de alta tecnologia ancoradas ao fundo do mar. Podem ser empregadas em profundidades de até 2.000 metros, sendo, geralmente, projetadas para uso contra submarinos e programadas para liberar uma carga flutuante ou disparada (The Royal Institute of International Affairs, 2014).

As minas de influência utilizam sensores para detectar as assinaturas dos navios que transitam em sua proximidade, sendo ativadas quando seus parâmetros de disparo são atendidos. Esses sensores podem ser usados individualmente ou em combinação para detectar vários aspectos das assinaturas de um navio, proporcionando uma solução de disparo mais precisa, capaz de direcionar para uma classe específica de navios e evitar ser enganada por contramedidas (Archambault et al., 2017).

Um mecanismo de influência magnética é um dispositivo projetado para detectar mudanças no campo magnético da Terra causadas por um navio alvo. Os mecanismos de influência acústica consistem, basicamente, em microfones passivos e circuitos associados para detectar ruídos subaquáticos, bem como *transponders* ativos que transmitem sinais e recebem ecos de um alvo previamente adquirido (Archambault et al., 2017).

Os mecanismos de influência de pressão detectam a zona de baixa pressão criada sob o casco de um navio em movimento. Esse sistema pode ser afetado pela ação das ondas de superfície e, como resultado, é usado principalmente em águas abrigadas, em combinação com outro mecanismo de influência. A vantagem de um sistema de influência de pressão é que é impossível simular a assinatura de pressão de um navio alvo sem, realmente, rebocar uma embarcação, tornando este tipo de mina muito difícil de varrer (Archambault et al., 2017).

As minas de influência combinada consistem em mecanismos de disparo acústico, magnético e de pressão montados juntos, cada um respondendo ao seu próprio tipo de influência. Sistemas envolvendo uma combinação de influências estão disponíveis na maioria dos dispositivos de disparo de minas. Os mecanismos de influência combinada são projetados para utilizar as vantagens de um sistema para compensar as desvantagens de outro (Archambault et al., 2017).

Uma prática comum para minas de influência é a contagem de navios, garantindo que a mina não será acionada pelo navio líder de um comboio. Idealmente, essa configuração aguarda até que um navio de maior valor, como um navio aeródromo, entre no campo minado antes de ser ativada (Archambault et al., 2017).

Detectar minas no ambiente próximo à costa é uma tarefa desafiadora devido ao seu tamanho relativamente pequeno, capacidade de ocultação e possibilidade de serem

lançadas de uma ampla variedade de plataformas. Esse desafio é ainda mais evidente com as minas modernas, projetadas com características resistentes às CMM, como revestimentos não reverberantes, componentes não ferrosos e formatos não convencionais. Frequentemente, é necessário empregar equipamentos complexos e dispendiosos para realizar, com eficácia, a busca e neutralização dos artefatos. Como resultado, a mitigação dessas armadilhas requer um investimento financeiro considerável, desproporcional ao tamanho e custo típicos de uma mina marítima. (National Research Council, 2000).

Para se contrapor à minagem efetuada pelo inimigo, as marinhas ao redor do mundo têm, historicamente, contado com uma Força de CMM, utilizando táticas tanto passivas quanto ativas. As contramedidas passivas consistem em modificar as características ou assinaturas específicas dos navios-alvo capazes de acionar as minas marítimas. Essas modificações podem compreender a construção de navios com fibra de vidro ou madeira em vez de aço, ou, até mesmo, tentar alterar o campo magnético de um navio de aço por meio da desmagnetização (Tellez; Borghgraef; Mersch, 2017).

Por outro lado, as contramedidas ativas visam a detectar artefatos utilizando navios ou plataformas especialmente projetados para evitá-los ou destruí-los. A varredura e a caça de minas são duas dessas CMM. A primeira modalidade utiliza uma varredura de contato, com cabos dotados de “tesouras”⁷ arrastados pela água, por embarcações ou helicópteros, para cortar as amarras de minas de fundeio, ou uma varredura de influência, que simula as assinaturas acústica e/ou magnética de um navio alvo, para detonar os dispositivos. A caça de minas difere da varredura, exigindo a busca de todos os explosivos em uma área, antes de descartá-los e pode ser dividida em etapas (Tellez; Borghgraef; Mersch, 2017).

A caça de minas é eficaz contra quase todos os tipos de engenhos explosivos e compreende cinco etapas: detecção, classificação, localização, identificação e neutralização. O processo pode ser demorado, com um navio da Força de CMM, normalmente, levando várias horas para concluir a detecção (geralmente usando sonar) até o processo de neutralização (Tellez; Borghgraef; Mersch, 2017).

As minas navais podem ser lançadas por diversas plataformas, incluindo aeronaves, submarinos, navios de superfície e fuzileiros navais. Cada um desses meios possui características específicas que os tornam mais adequados para determinadas situações de minagem. As aeronaves, por exemplo, são as únicas com a capacidade de lançar minas com segurança em áreas já minadas, o que as torna essenciais para operações de reminagem ou para estabelecer campos de minas em áreas defensivas do inimigo (Brasil, 2017b).

⁷ As tesouras compõem o conjunto de equipamentos de varredura mecânica e são dispositivos compostos por um par de lâminas, com a capacidade de realizar o corte do cabo de aço de uma mina de fundeio (Almeida; Filho, 2007).

Os submarinos, por sua vez, podem penetrar em áreas controladas pelo inimigo e plantar minas com maior precisão em comparação com as aeronaves. Além disso, podem realizar essas operações furtivamente, sem revelar sua presença. No entanto, eles enfrentam a limitação de não poder operar em áreas já minadas. Portanto, a manutenção contínua de um campo minado estabelecido por submarinos dependerá do uso complementar de aeronaves para realizar a reminagem necessária (Brasil, 2017b).

Navios de superfície são menos indicados para operações em áreas sob controle inimigo, devido ao maior risco de serem detectados e atacados. Sua utilização é mais apropriada para a minagem defensiva ou para a criação de grandes campos estratégicos em regiões onde se possa assegurar o controle operacional necessário (Brasil, 2017b).

3.2 A INFLUÊNCIA DO MAGNETISMO

Todas as embarcações que navegam por uma determinada região emitem campos eletromagnéticos característicos de sua plataforma, que se propagam na água e estão passíveis de serem detectadas por minas. Sendo assim, as suas assinaturas eletromagnéticas precisam ser limitadas a um nível seguro, o qual é o nível máximo de perfil eletromagnético que um navio pode ter para navegar com segurança em uma região com a presença de campos minados. O nível seguro é função da sensibilidade das minas marítimas e da distância que a plataforma marítima se aproxima do artefato explosivo. Há várias contramedidas que podem ser exploradas para evitar a detecção, compondo dispositivos para eliminar as assinaturas eletromagnéticas, dificultando a capacidade da mina em realizar a discriminação (Nain et al., 2013).

O campo magnético presente surge da distorção do campo magnético da Terra, quando uma embarcação com componentes ferrosos em quantidade significativa é inserida nele. Este campo pode ser observado e originado na forma de magnetismo induzido, pela composição ferrosa do navio (permeabilidade) em combinação com o campo magnético da Terra e com a forma e orientação do meio naval dentro desse campo. Esses fatores fazem com que o material ferroso contido na embarcação atue como um ímã na presença do campo magnético da Terra (Nain et al., 2013).

Quanto maior a permeabilidade e/ou mais forte o campo magnético da Terra, mais forte é o ímã. A forma e a orientação da embarcação também tendem a aumentar o magnetismo induzido. Navios com cascos mais longos que estão paralelos ao campo magnético da Terra também podem criar um magnetismo mais forte. Adicionalmente, as plataformas navais possuem um magnetismo permanente, criado de forma não intencional durante a construção do navio, variável durante viagens e operações de combate e/ou alterado intencionalmente durante os tratamentos magnéticos do meio (Nain et al., 2013).

Uma maneira de reduzir as assinaturas eletromagnéticas características é suprimir as respectivas fontes ou estabelecer um sistema adequado para protegê-las de influências eletromagnéticas indesejadas. Existem algumas técnicas concebidas para eliminar ou reduzir as assinaturas eletromagnéticas das embarcações, a fim de dificultar a detecção ou o acionamento não desejado de uma mina naval (Nain et al., 2013).

O *Degaussing* é um sistema que tem por objetivo reduzir o potencial magnético de uma embarcação, sendo utilizado para proteger navios de minas. Sistemas de *Degaussing* são instalados a bordo para reduzir o efeito sobre o campo magnético da Terra e, para isso, o campo magnético do navio deve ser “zerado”, controlando a corrente elétrica que flui através da bobina de *degaussing* no local correto no casco. Dessa forma, com o tempo, o magnetismo residual do navio devido ao campo magnético da Terra é diminuído. A implementação consiste em instalar uma bobina de *Degaussing* permanente, uma unidade de controle para a corrente da bobina e um equipamento de compensação para evitar a interferência nas agulhas magnéticas (Sardono Sarwito; Koenhardono; Kurniawan, 2017).

O “Deperming” é um procedimento que envolve alterar o magnetismo permanente em navios, submarinos ou outros veículos militares. O objetivo da desmagnetização é apagar qualquer histórico magnético, minimizar a magnetização permanente longitudinal (da proa à popa) e otimizar a magnetização permanente vertical para a região de operação esperada (Baynes; Russell; Bailey, 2002).

3.3 FATORES AMBIENTAIS

As condições ambientais exercem uma forte influência nas operações de minagem e CMM. Todas as fases, desde o lançamento até a detecção de alvos e a busca e varredura de minas, são afetadas pela variabilidade das condições oceânicas e meteorológicas. Variações nos parâmetros ambientais, como batimetria, salinidade, temperatura, amplitude das marés, correntes, transparência da água e características do fundo do mar, podem alterar e degradar, significativamente, o desempenho dos sensores e reduzir as capacidades operacionais (National Research Council, 2000).

Os invólucros e os sensores das minas, os sinais dos alvos e os sistemas de CMM são todos afetados por fatores ambientais e influenciam a escolha de equipamentos e procedimentos (Joint Chiefs of Staff, 2018).

Para garantir o sucesso das operações na zona costeira, onde a maioria das atividades ocorre, é essencial compreender, minuciosamente, o ambiente operacional em todas as etapas do planejamento e execução da missão (National Research Council, 2000).

A influência das variações meteorológicas nas operações de minagem e CMM próximas à costa pode ser diretamente relacionada aos efeitos das condições atmosféricas

nas capacidades dos sensores. Por exemplo, a presença de nuvens fragmentadas pode criar sombras confusas para a detecção óptica, enquanto nuvens densas e chuva podem prejudicar tanto o desempenho da detecção óptica quanto acústica. Pouco pode ser feito para mitigar esses efeitos, embora seja possível prever a sua influência sobre os sensores (National Research Council, 2000).

A topografia costeira, os pontos de referência em terra, marcos naturais e artificiais, riscos na trajetória de voo de aeronaves, bancos de areia e outros perigos subaquáticos para embarcações de superfície podem ter grande impacto no controle de navegação e em restrições para voos de precisão (Joint Chiefs of Staff, 2018).

Outros impactos estão principalmente associados aos efeitos da atmosfera nos movimentos dos fluidos que afetam o soterramento das minas e as contramedidas. Em escalas menores, a ação das ondas induzidas pelos ventos locais pode complicar as operações dos mergulhadores e influenciar a taxa de afundamento ou escavação das minas. Em escalas maiores, os ventos podem alterar, drasticamente, as propriedades ópticas e acústicas locais da coluna d'água (National Research Council, 2000).

As condições climáticas, a duração de períodos de escuridão e luz, a visibilidade, a temperatura do ar, a precipitação, a frequência de tempestades e as condições de formação de gelo constituem limitações operativas e oferecem restrições relacionadas à seleção de plataformas, equipamentos, requisitos operacionais e preocupações logísticas (Joint Chiefs of Staff, 2018).

Na zona costeira, os padrões de vento na superfície podem ser fortemente moldados pela topografia costeira local e podem apresentar variações significativas ao longo do dia. Da mesma forma, a presença ou ausência de águas turvas provenientes de rios e estuários próximos está geralmente correlacionada com as condições atmosféricas locais (National Research Council, 2000).

As variações na profundidade da água e no perfil do fundo do mar podem afetar os locais de arrebentação e a altura das ondas, a intensidade e posição das correntes superficiais, e a penetração da maré em águas muito rasas. Na zona de arrebentação, mudanças na batimetria ao longo do tempo podem influenciar as dinâmicas locais. Em águas mais profundas, embora as mudanças sejam mais lentas, elas ainda podem ser suficientes para provocar o soterramento de minas (National Research Council, 2000). Ter conhecimento prévio dessas condições é crucial para o planejamento operacional e pode condicionar a extensão da área operacional em relação ao tipo de mina a ser neutralizado, a escolha de contramedidas e as plataformas, equipamentos e táticas, além de limitar o emprego de mergulhadores (Joint Chiefs of Staff, 2018).

As correntes marítimas são movimentos contínuos de fluido em longos períodos, originados de diversos processos, como gradientes de densidade na água do mar, força

direta dos ventos e influência das marés. Antes das operações de GM na zona costeira, é essencial conduzir uma análise meteorológica e oceanográfica detalhada, capaz de compreender as complexidades das forças que dirigem o fluxo das correntes e discernir como isso pode afetar a execução da missão (National Research Council, 2000). Estas correntes podem exercer influência na navegação e manobra de embarcações, no deslocamento de equipamentos rebocados, nas operações de mergulhadores e no efeito no enterramento de minas (Joint Chiefs of Staff, 2018).

A transparência da água é fundamental para as operações de mergulho, garantindo tanto a segurança quanto a capacidade de identificar, classificar e neutralizar minas. Com o avanço da tecnologia de sensores ópticos e o desenvolvimento de plataformas adequadas, métodos ópticos tornaram-se parte das CMM. A clareza da água é determinada principalmente pela absorção e dispersão causadas por elementos como fitoplâncton, partículas suspensas, sedimentos e matéria orgânica dissolvida, além das características naturais da água (National Research Council, 2000).

O espalhamento de partículas pode distorcer as imagens das minas, enquanto a absorção pode reduzir a eficiência de atuação das fontes de luz tanto para os mergulhadores quanto para os sensores óticos. Além disso, a visibilidade subaquática depende da posição do sol e das condições atmosféricas. O desenvolvimento de sensores subaquáticos para medição das propriedades ópticas da água amplia o uso de recursos ópticos para as CMM. Esses avanços também contribuem para uma interpretação mais precisa de dados coletados por meio de sensoriamento remoto (National Research Council, 2000).

Há, ainda, outros fatores ambientais que podem determinar e condicionar as operações em determinada área de operações. A temperatura da água, as características do leito marinho, acústicas, magnéticas, de pressão e biológicas podem afetar as operações de mergulho, localização de minas, tipos e padrões de varreduras, parâmetros e escolhas dos sensores de busca (Joint Chiefs of Staff, 2018).

Devido à sua dinâmica, o ambiente costeiro é acusticamente complicado, apresentando índices de reverberação acentuados e ruído ambiente. Os sonares de alta frequência são as principais ferramentas para a detecção, localização e classificação de minas, sendo projetados para operar em locais com diferentes profundidades, cobrindo toda a coluna d'água, desde a superfície até o fundo do mar e abaixo do leito marítimo (National Research Council, 2000).

4 CAPACIDADES ATUAIS, NOVAS TECNOLOGIAS E SOLUÇÕES

Para enfrentar as ameaças no ambiente marítimo e assegurar a importância das infraestruturas críticas e dos portos brasileiros e, também, para garantir o desenvolvimento econômico e militar do país, é fundamental possuir capacidades de minagem e CMM com a atualização tecnológica necessária. Nesse sentido, a MB deve concentrar esforços significativos no aperfeiçoamento, evolução do conhecimento e doutrina, além de fomentar a expansão dessas capacidades, conforme necessário.

A segurança de portos, bases navais, estaleiros, rotas marítimas, rios e plataformas de petróleo no alto mar, além dos interesses econômicos como pesca comercial e exploração de recursos minerais na plataforma continental, necessita ser protegida por uma Força de Contramedidas de Minagem bem treinada e equipada (Vogt, 2019).

Diante dessa perspectiva, surge a necessidade de garantir a navegação segura nas vias navegáveis, especialmente na Amazônia Azul, para que as riquezas dessa área sejam preservadas e exploradas consoante os interesses do Estado brasileiro. A segurança na navegação é fundamental para a proteção dos recursos e da soberania nacional.

Além disso, marinhas que operam submarinos de propulsão nuclear realizam CMM antes da entrada e saída desses meios estratégicos de portos e canais de acesso. Tal medida é essencial para evitar acidentes com essas unidades, que poderiam causar sérios danos ambientais, afetar a população local e interromper as operações portuárias. Com a conclusão da Base de Submarinos da Ilha da Madeira, no Complexo Naval de Itaguaí, e a construção dos submarinos de propulsão convencional (S-BR) e nuclear (SN-BR), a Marinha enfrentará novos desafios para prover a utilização segura desses meios.

4.1 CAPACIDADES ATUAIS DE MINAGEM E CMM NA MB

A Estratégia de Defesa Marítima brasileira descreve, os aspectos inerentes ao dimensionamento da Força Naval, citando entre estes, os elementos para a Força de Guerra de Minas:

Durante o processo de dimensionamento, orientado pela Sistemática de Planejamento de Alto Nível da Marinha (SPAN) e derivado do Conceito Estratégico e das Diretrizes Estratégicas de Preparo e Emprego, foram identificados os quantitativos dos sistemas e meios componentes de cada Elemento de Força⁸. Os requisitos e estimativa de custos são delineados pelo Setor de Material da MB para elaboração de propostas de solução de força. É importante ressaltar que o Dimensionamento proposto levou em consideração o Diagnóstico do Poder Naval (Brasil, 2023b, p. 3-1).

⁸ Conjunto de meios (navios, aeronaves, carros de combate, etc.) e sistemas, doutrinariamente organizados que, por meio da realização de tarefas, atingem um efeito em determinado tempo e espaço (Brasil, 2023b).

As Capacidades de GM dimensionadas pela publicação incluem a Minagem Defensiva e as CMM sem oposição, propondo o atingimento dos efeitos sobre esse Elemento de Força, ao alcançar a Negação do uso de Área Marítima de Interesse e a Proteção de Linhas de Comunicação Marítima (Brasil, 2023b).

Para a consecução desse objetivo, dimensionou-se a Força de Guerra de Minas incluindo três navios de CMM, um Navio de Socorro e Salvamento (NSS), dez navios com capacidade de Minagem, dois Grupos de Desativação de Artefatos Explosivos (GDAE) e Sistemas não tripulados (Brasil, 2023b).

Entre 1970 e 1974, foram adquiridos, pela MB, seis NV da classe “Aratu” (classe “Schütze”) da Alemanha, construídos pelo estaleiro “Abeking & Rasmussen”. Dos seis navios, o NV “Anhatomirim” (M16), o NV “Abrolhos” (M19) e o NV “Albardão” (M20) já foram retirados do serviço ativo. Os outros três navios da classe - NV “Aratu” (M15), NV “Atalaia” (M17) e o NV “Araçatuba” (M18) - continuam em operação, apesar da avançada idade, embora tenham recebido um esforço de manutenção (Vogt, 2019).

Ressalta-se como característica desses navios, a sua estrutura composta de um casco em madeira com baixíssima assinatura magnética, garantindo a possibilidade de realizarem varreduras mecânica e de influência. No entanto, não possuem capacidade para realizar varredura contra minas de pressão (Vogt, 2019).

Os NV em operação na MB, constituindo os únicos recursos disponíveis para realizar CMM, enfrentam sérias limitações tecnológicas que comprometem sua eficácia. Construídos na década de 1970, essas embarcações não possuem sistemas de comando e controle integrados, seus equipamentos são desatualizados e não acompanham a evolução tecnológica das minas modernas. Além disso, os sistemas de varredura magnética necessitam de revitalização. O sistema de varredura acústica também possui limitações, dependendo de funcionalidades específicas e os dispositivos mecânicos apresentam-se com restrições (Vogt, 2019).

Apesar das medidas mitigadoras parcialmente implementadas na tentativa de manter os meios navais com capacidade operativa, persiste a defasagem tecnológica em comparação com outras marinhas no que diz respeito aos meios utilizados para CMM. As restrições englobam deficiências na aquisição de novos equipamentos ou tecnologias adicionais para diminuir esse hiato temporal.

Como resultado da obsolescência dos meios, há uma significativa redução na prontidão operacional devido às dificuldades na manutenção de seus equipamentos e sistemas. Essa degradação reflete na perda das capacidades dos NV em relação aos tipos de varredura para os quais foram originalmente projetados. As especificidades de manutenção contribuem para a indisponibilidade operativa, o que, aliado à perda de capacidades dos navios, compromete o treinamento adequado das tripulações.

A necessidade de adquirir novos meios para contramedidas de minagem é destacada como uma das principais ações necessárias para restaurar a capacidade de GM. A progressiva inatividade dos atuais navios de CMM da Classe "Aratu", devido à extensão dos períodos de manutenção, extensão dos períodos operacionais, escassez recorrente de recursos em exercícios financeiros consecutivos e à idade avançada das embarcações, são fatores que têm contribuído para a perda do conhecimento dos procedimentos relacionados às tarefas a que se destinam tais navios.

4.2 MEIOS, TECNOLOGIAS, EQUIPAMENTOS E SOLUÇÕES NAS PRINCIPAIS MARINHAS DE REFERÊNCIA

Consoante o exposto na seção anterior, a substituição dos NV da Classe "Aratu" tornou-se uma necessidade premente. A natural previsão de que esses navios devam ser descomissionados a curto prazo resulta em encontrar substitutos adequados com urgência. Essa renovação é importante para assegurar a continuidade da doutrina de CMM na MB.

O avanço tecnológico e doutrinário motivou a evolução da varredura para a caça de minas, envolvendo a busca minuciosa dos artefatos, utilizando sonares de alta resolução, seguida de sua destruição, desativação ou remoção. Essas tarefas podem ser realizadas remotamente ou no local, empregando mergulhadores ou UUV. Adicionalmente, essa atividade demanda equipamentos e soluções tecnológicas avançadas, de alto custo, além de exigir treinamento especializado para a execução adequada.

Ao examinar as alternativas das principais marinhas, nota-se que a maioria utiliza navios equipados com sistemas integrados de CMM, muitos dos quais possuem capacidades híbridas para realizar tanto varredura quanto caça de minas. Contudo, muitas dessas marinhas estão investindo em projetos inovadores para operações de CMM, adotando UUV de última geração e sistemas modulares e autônomos, como será apresentado a seguir.

4.2.1 Marinha dos Estados Unidos da América

A estrutura de GM da marinha estadunidense utiliza componentes ofensivos e defensivos. No entanto, o foco predominante engloba elementos defensivos de CMM aéreo, de superfície e expedicionário, este último referindo-se ao uso de recursos como a eliminação de artefatos explosivos. O pilar principal baseia-se na classe "Avenger" com a capacidade de cumprir ambas as missões de varredura e caça de minas (Pedersen, 2021).

Os navios da classe "Avenger" da Marinha norte-americana são atualmente os únicos concebidos especificamente para CMM na força. Construídos na década de 1980,

apenas oito desses navios continuam em operação, sendo provável que sejam descomissionados nos próximos anos, com base nos dados e contratos de manutenção recentes (Douglas, 2023).

As plataformas possuem, dentro de seu conjunto de sensores, dois sonares instalados em um pequeno veículo submersível em forma de torpedo que é rebocado. Estes meios possuem, dentre os equipamentos voltados para CMM, sistemas de visualização de ecos dos sonares, tesouras para cortar os cabos das minas e um dispositivo detonador de artefatos que pode ser liberado e detonado por controle remoto (United States Navy, 2020).

Estão equipados com o sonar para caça de minas AN/SQQ-32, que possui capacidade de profundidade variável para detecção e classificação. Em caso de detecção de artefato explosivo, utilizam o Sistema de Neutralização de Minas AN/SLQ-48. Contudo, o AN/SQQ-32 não é ideal para operar em ambientes litorâneos contra minas de fundo furtivas. Em resposta a essa limitação, estão sendo consideradas atualizações de sonar de alta frequência para esses navios (Committee for Mine Warfare Assessment, 2001).

São capazes de realizar varreduras convencionais, empregando equipamentos de varredura mecânica, magnética e acústica desenvolvidos na época da 2ª Guerra Mundial. São construídos com o casco em madeira, revestidos por uma lâmina de fibra de vidro, resultando em baixa assinatura magnética, o que lhes permite aproximarem-se de campos minados com mais segurança, compreendendo a capacidade de detectar, classificar e destruir minas de fundo e de fundo (United States Navy, 2020).

Embora seja uma plataforma testada e comprovada, os navios da classe “Avenger” apresentam equipamentos desatualizados tecnologicamente, resultando em grande necessidade de uma substituição a curto prazo. Dos 14 originalmente comissionados, apenas oito permanecem em serviço, tendo o seu ciclo operacional novamente estendido, muito além do previsto no ciclo de vida inicial, devendo permanecer em operação até o final da década de 2020 (Pedersen, 2021).

A Marinha dos Estados Unidos vem planejando substituir a classe “Avenger” por uma solução baseada em um navio com propósito multimissão, modular, com um conceito de Pacote de Missão mutável, representada pelos “Littoral Combat Ships” (LCS)⁹. O programa LCS está em desenvolvimento há décadas e ainda não entregou uma substituição adequada para CMM, enfrentando múltiplos obstáculos, além de constituir uma solução de elevado custo quando comparada aos navios de CMM (Pedersen, 2021).

Em abril de 2024, a marinha norte-americana realizou o comissionamento do primeiro Pacote de Missão de CMM no USS “Canberra” (LCS 30), marcando um avanço significativo na modernização de suas capacidades de combate litorâneo. Este pacote

⁹ LCS: Navios de Combate Litorâneos (tradução nossa).

inclui sensores avançados, veículos não tripulados e software especializado que permitem a realização de operações de CMM (Naval Sea Systems Command, 2024).

O pacote de missão de CMM foi projetado para localizar, identificar e destruir minas em águas litorâneas, aumentando a distância de segurança do navio em relação à área de ameaça. A integração de sistemas marítimos não tripulados e sensores permite que o LCS conduza operações de detecção e neutralização de minas. Este avanço é um passo importante, pois possibilitará a futura retirada do serviço ativo de seus navios de CMM e dos helicópteros MH-53E “Sea Dragon”, substituindo-os por tecnologias mais modernas e eficazes (Naval Sea Systems Command, 2024).

Os helicópteros MH-53E e MH-60, atualmente, formam o componente aéreo dedicado às contramedidas de minagem. Essas aeronaves possuem grande capacidade de equipamentos, sendo aptas a rebocar equipamentos pesados de varredura de minas, necessários em determinadas situações de ameaça. Constam de seu inventário, sonar caça-minas de varredura lateral, sistemas de varredura mecânica, acústica e de influência magnética. Apesar das vantagens dos helicópteros MH-53E para missões de varredura, a Marinha não destinou recursos para sua manutenção ou modernização (Committee for Mine Warfare Assessment, 2001).

4.2.2 Marinha do Reino Unido

A Força de CMM da Marinha Real Britânica conta com meios tradicionais e inovações tecnológicas, aliando procedimentos já consolidados nas técnicas de CMM aos avanços proporcionados pela evolução dos equipamentos.

Os navios caça-minas (NCM) da Classe “Sandown” possuem um casco de plástico reforçado com fibra de vidro que conferem baixa assinatura magnética. Estão equipados com sonar de profundidade variável Tipo 2093, podendo detectar pequenos alvos a 600 metros abaixo da superfície. Esta classe de navios está equipada com dois veículos controlados remotamente PAP 104 mk5, por meio de um cabo de fibra ótica de 2.000 m. Constituem ainda o conjunto, um sistema de iluminação, uma câmera em preto e branco de baixo nível de luz e uma câmera colorida (Army Recognition Group, 2020).

Os veículos, que podem operar a uma profundidade de 300 m, também são dotados de sonar de alta resolução, sendo os dados dos sensores transmitidos de volta para o centro de controle de operações no navio. Para a destruição das minas encontradas são empregadas cargas de 100 kg. Tesouras compõem o sistema para a liberação de minas fundeadas. A Classe “Sandown” também está equipada com dois lançadores leves de despistadores infravermelhos em modos de operação de confusão, distração e sedução (Army Recognition Group, 2020).

Outra classe de navios dedicados à caça de minas utilizada pela marinha britânica é a Classe “Hunt”, composta de seis embarcações de CMM construídas em cascos de plástico reforçado com fibra de vidro, conferindo baixa assinatura magnética. Seus meios são equipados com sonar de alta definição para rastrear os leitos marinhos e dois veículos para a identificação e a eliminação de minas, controlados remotamente. Foram projetados tanto para varredura de minas quanto para caça de minas, além de missões de patrulha. Eles incluem uma câmara de descompressão para dois mergulhadores, conferindo segurança na operação de desativação de artefatos explosivos (Royal Navy, 2024).

Com a evolução tecnológica observada no meio militar, nos últimos anos, um processo de transição está em andamento na Marinha Real, onde a varredura convencional baseada em navios, será gradativamente suplantada por sistemas autônomos de caça de minas, resultando na neutralização e operações mais seguras e com maior eficiência. Estes sistemas são constituídos de Veículos de Superfície Não Tripulados (VSNT)¹⁰ dotados com cargas úteis sofisticadas que podem detectar e neutralizar a ameaça de minas marítimas. Esses novos sistemas são mais rápidos e fornecem maior precisão do que os NCM tripulados (Defence Equipment & Support , 2024).

Em parceria com a marinha francesa, os militares britânicos estão desenvolvendo um programa de inovação tecnológica que compreende o sistema conjunto de CMM “WILTON”¹¹, o sistema de varredura combinada de minas de influência “SWEEP”¹² e o veículo autônomo subaquático “SEACAT”¹³. O programa também prevê a utilização de uma plataforma autônoma para expandir os alcances operacionais. Serão equipamentos de caça de minas de ponta para a Marinha Real britânica (“Royal Navy”) e a Marinha da França (“Marine Nationale”), compostos por VSNT, cargas úteis e centros de comando remotos (Defence Equipment & Support , 2024).

Duas embarcações foram adquiridas pela “Royal Fleet Auxiliary - RFA” (Real Força Auxiliar, tradução nossa), sendo modificadas e atualizadas para receberem os novos sistemas de CMM. O RFA “Stirling Castle” foi adquirido em 2023 para ser o navio-mãe desses veículos no Reino Unido e o RFA Cardigan Bay está sendo igualmente modificado para ser empregado em águas mais afastadas. Atuarão como base para lançamento, para comando e controle (C²) ou como base flutuante para equipes de mergulho, apoio logístico e operadores VSNT voltados para a GM (Defence Equipment & Support , 2024).

¹⁰ VSNT ou USV - “Uncrewed Surface Vessels” - Veículos de Superfície Não Tripulados (tradução nossa).

¹¹ O sistema “WILTON”, já operado na região do Golfo pela Marinha Real Britânica, inclui navios de superfície tripulados e não tripulados, cargas úteis de detecção de minas e centros de comando remotos.

¹² O sistema “SWEEP” inclui VSTN, embarcações auxiliares com centros de comando remotos. Cada sistema pode emitir sinais magnéticos, elétricos e acústicos para detonar vários tipos de minas navais. O “SWEEP” é um sistema complementar utilizado para lidar com minas que não podem ser neutralizadas usando outras táticas de caça de minas.

¹³ O sistema SEACAT será empregado com embarcações de superfície tripuladas e não tripuladas, visando a fornecer capacidade adicional de cobertura e de busca de ameaças de minas.

Portanto, com a aquisição dos novos meios e o avanço do programa anglo-francês, fica contundente a importância que a Marinha do Reino Unido demonstra em suas capacidades de CMM, iniciando uma transição para a utilização de navios modulares com sistemas de neutralização de minas submarinas, seguindo a mesma abordagem adotada pela Marinha dos Estados Unidos.

4.2.3 Marinha da França

Do mesmo que modo que as marinhas já citadas, a Marinha da França vem direcionando recursos para os projetos que envolvam veículos não tripulados para atuarem em águas minadas.

A renovação da sua frota de NCM da Classe “Tripartite”¹⁴ será consequência do desenvolvimento de um programa, em parceria com a marinha britânica citada na última seção, que objetiva garantir a segurança na operação dos seus submarinos nucleares lançadores de mísseis estratégicos e do navio aeródromo “Charles de Gaulle”. O projeto inclui o desenvolvimento de um contêiner para C², dois VSNT, sendo um usado para o lançamento de Veículo Remotamente Operado (VRO) e outro para o lançamento de sonar rebocado. Adicionalmente, visa proteger o acesso aos portos franceses, apoiar o desdobramento de uma força de ação naval, a evacuação de cidadãos e a prevenção de crises (Ministère des Armées, 2024).

Assim como nos demais países mencionados, as decisões francesas foram tomadas para manter os operadores afastados das ameaças. Além disso, essa decisão considerou a modernização da capacidade de CMM, a expansão do seu campo de atuação e a operação discreta desses sistemas. Dessa forma, verifica-se que a Marinha da França também possui o propósito de operar meios não tripulados.

4.2.4 Marinha dos Países Baixos, Bélgica, Polônia e Itália

A classe de navios de CMM “Alkmaar”, da real marinha holandesa, foi construída na década de 1980 e, das quinze embarcações inicialmente comissionadas, apenas cinco estão em operação atualmente. Derivada da Classe “Tripartite” francesa, tem em sua concepção de emprego manter o mar, as águas costeiras e as aproximações aos portos livres de minas e apoiar unidades navais durante operações ao redor do mundo. Foram

¹⁴ A classe de NCM “Tripartite” é um exemplo de cooperação internacional naval entre França, Bélgica e Países Baixos. Concebidos na década de 1970 e construídos durante os anos 1980, esses navios são também utilizados pelo Paquistão e Indonésia. A França foi responsável pela fabricação do equipamento de caça-minas, a Bélgica contribuiu com a eletrônica, enquanto os Países Baixos se encarregaram do sistema de propulsão. Esses navios desempenham um papel crucial na OTAN, fazendo parte de uma força dedicada às CMM no norte da Europa, complementando as operações no Mediterrâneo (Armed Forces, 2024).

modernizadas entre 2005 e 2010 com novos sensores, armamento e sistema de comando e controle (Naval Technology, 2023).

O casco do navio foi construído com poliéster, enquanto a superestrutura foi feita de alumínio, tendo sido montado com o sonar TSM 2022 MkIII para melhorar a eficiência na caça às minas, permitindo a detecção e classificação simultâneas de objetos subaquáticos em condições ambientais adversas. O pacote de sensores também pode incluir um sonar de profundidade variável autopropulsado em cenários onde o desempenho do sonar de casco é inadequado, podendo ser controlado pelo centro de caça de minas e manobrar à frente ou abaixo da embarcação. Uma vez identificada uma mina, um UUV é lançado na água para inspeção e destruição (Naval Technology, 2023).

Atualmente, as Marinhas do Paquistão, Indonésia, Bulgária e Letônia operam navios dessa classe. O Ministério da Defesa dos Países Baixos informou que fornecerá duas unidades da Classe “Alkmaar” à Ucrânia, a partir de 2025, após a sua substituição por novas embarcações de CMM. Os navios apoiarão a marinha ucraniana em operações no Mar Negro na Guerra contra a Rússia (Naval Technology, 2023).

Em 29 de março de 2023, o primeiro dos doze navios de CMM de um programa de construção belga-holandês, o M940 “Oostende”, foi lançado ao mar. Este programa prevê o fornecimento à Marinha Belga e à Marinha Real dos Países Baixos, além das doze embarcações, cerca de cem drones que irão equipá-los. Esses navios, especializados e projetados com segurança cibernética, são os primeiros a conseguir embarcar e lançar uma combinação de VRO de superfície, submarinos e aéreos (Naval News, 2023).

O conjunto de sensores é composto por um sistema principal autônomo para detecção, classificação e neutralização de minas. Eles são capazes de resistir a explosões abaixo d’água e possuem assinaturas acústicas, elétricas e magnéticas muito baixas, alinhadas com as missões a serem realizadas (Naval News, 2023).

A solução adquirida pelas marinhas da Bélgica e dos Países Baixos representa uma mudança de paradigma na forma como as minas são combatidas, adotando uma posição remota “stand-off”¹⁵ que reduz o risco para o pessoal e para a embarcação principal, permitindo um aumento substancial na velocidade de cobertura de áreas minadas.

Em 2021, a marinha italiana iniciou estudos para a redução de riscos e definição do projeto para um NCM de nova geração. Visando relacionar estes estudos aos programas de modernização dos navios de CMM, a “Marina Militare” prevê a construção de doze novas embarcações nos próximos anos para substituir os quatro caça-minas da Classe “Lerici” e as oito embarcações da Classe “Gaeta”. Os novos meios serão construídos

¹⁵ “Stand-off” - estratégia de operação onde as atividades são conduzidas a uma distância segura da ameaça potencial, minimizando o risco para o pessoal e os equipamentos envolvidos (tradução nossa).

utilizando a mesma tecnologia das embarcações existentes, com casco em material composto em fibra de vidro ultra espessa, mas de maior tamanho (Vavasseur, 2021).

A Itália foi mais um país europeu a adotar a tendência na GM que visa a manter os militares fora do campo minado (“Stand-off”) por meio da aplicação remota de sistemas não tripulados, a partir de uma embarcação-mãe.

Semelhante às Marinhas da Bélgica e dos Países Baixos, a Marinha da Polônia também vem investindo na aquisição de NCM, ao iniciar a construção do quarto caça-minas da Classe “Kormoran II”, contendo modernos sensores como o sonar de abertura sintética rebocado e com capacidade de operar veículos não tripulados (Bahtić, 2023).

Seguindo a sua política de distribuição de responsabilidades, a OTAN atribuiu a competência pelo desenvolvimento de estudos e doutrina da GM aos Países Baixos, Bélgica, Polônia e Itália. Esses países coordenam um Centro de Excelência, localizado em Oostende, na Bélgica, chamado “NATO Naval Mine Warfare Centre of Excellence (NMW COE)”¹⁶. Detêm larga experiência nas operações de caça de minas, possuindo navios de CMM em suas forças e desempenhando um papel fundamental na manutenção e no desenvolvimento das capacidades dos membros da OTAN (OTAN, 2024).

Nesse contexto, a adoção de tecnologias e o desenvolvimento de novas plataformas representa uma “mudança completa de paradigma” na forma de combater minas, adotando uma abordagem remota e permitindo um aumento substancial na velocidade de cobertura de áreas minadas.

4.2.5 Marinha da Indonésia e da Alemanha

Em maio de 2023, a Marinha da Indonésia recebeu dois novos NCM de 62 metros de comprimento. As plataformas, nomeadas “Pulau Fani” (731) e “Pulau Fanildo” (732), fazem parte do Projeto MHV-60 e se juntam a uma frota que inclui dois navios de CMM da Classe “Pulau Rengat” e sete antigos da Classe “Pulau Rote”, alguns dos quais serão desativados (Forças de Defesa, 2023).

Os caça-minas MHV-60, desenvolvidos como uma evolução de projetos alemães anteriores, possuem casco de aço não magnético e um conjunto de sensores de CMM, incluindo sonar submarino e VSNT. Equipados com duas pequenas embarcações SWATH de 9 metros, feitas de titânio e materiais compósitos, os navios podem neutralizar minas com eficiência. O conceito de operação dos novos meios é estabelecido por meio de um

¹⁶ “NMW COE - NATO NAVAL MINE WARFARE CENTRE OF EXCELLENCE”, organização multinacional, conjunta, militar e civil da OTAN que atua no desenvolvimento de conceito e experimentação, padronização de doutrina, exercícios, educação, treinamento e análise de lições aprendidas na Guerra de Minas.

navio multimissão que combinará a caça e a varredura de minas em uma única embarcação de forma modular (Forças de Defesa, 2023).

O 3º Esquadrão de Caça-Minas da marinha alemã opera dez NCM da Classe “Frankenthal”. Esse tipo de embarcação reúne todas as capacidades combinadas de CMM, envolvendo caça de minas direcionada, mergulho de limpeza, bem como varredura de minas em grandes áreas. Os navios do esquadrão apoiam, continuamente, manobras, operações e forças-tarefa marítimas nacionais e internacionais, incluindo as forças da OTAN (Bundeswehr, 2024).

Estes meios possuem várias alternativas para detectar e remover ameaças subaquáticas, podendo controlar drones submarinos guiados por cabo, capazes de identificar e destruir minas. Podem enviar mergulhadores para eliminar dispositivos explosivos em locais de difícil acesso, como portos ou praias. Além disso, possuem a capacidade de controlar VSNT da Classe “Seehund”, que simulam o ruído do motor e os campos magnéticos de embarcações maiores para detonar minas de fundo. Além destas plataformas, o 3º Esquadrão de Caça-Minas também opera dois antigos navios de controle de drones de CMM da Classe “Ensdorf” (Bundeswehr, 2024).

Observa-se, portanto, que os países mencionados estão se encaminhando para utilizar os VSNT e VRO em seus inventários de meios e equipamentos de CMM, planejando o seu uso tanto em navios dedicados quanto em navios multimissão.

4.2.6 Marinha da Noruega

As atuais forças de CMM da Noruega incluem três NCM da Classe “Oksøy”, um UUV “Hugin” e três NV da Classe “Alta”. Os NCM são equipados com sonar de casco e um VRO para a instalação de minas. O UUV possui sonar de abertura sintética interferométrica e câmera óptica com luzes estroboscópicas. Ele pode operar tanto a partir dos NCM quanto de outras embarcações oportunas com uma solução de contêiner. Os NV são equipados com sistemas de varredura magnética, mecânica e acústica, podendo realizar operações completas de varredura e caça de minas (Midtgaard; Nakjem, 2018).

As técnicas combinadas de varredura e caça de minas são complementares e essenciais para lidar com diversas ameaças de minas e operar eficazmente em áreas com diferentes condições ambientais. Na análise de requisitos para a próxima geração de capacidades de CMM, a Marinha da Noruega concluiu que, sozinha, a inovação tecnológica dificilmente produzirá soluções operacionais eficazes de caça de minas para todas as condições. Portanto, ainda será necessário integrar caça de minas, varredura de minas e mergulhadores especializados em CMM a longo prazo (Midtgaard; Nakjem, 2018).

O Ministério da Defesa da Noruega iniciou a fase conceitual para aquisição da próxima geração de capacidade naval de CMM, afirmando a importância dos sistemas não tripulados. Uma capacidade baseada no uso de sistemas modulares, autônomos ou controlados remotamente para caça e varredura de minas, operados a partir de uma plataforma tripulada posicionada dentro ou fora do campo minado, pode ser a solução preferida para o futuro (Midtgaard; Nakjem, 2018).

4.3 VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS

A GM já havia vivenciado a substituição das antigas minas navais por minas inteligentes, que apresentavam maior letalidade, quando adveio a evolução tecnológica e o surgimento de veículos não tripulados. Essa alteração no panorama das CMM vem acompanhada de incrementos consideráveis nos custos de obtenção e manutenção dessa capacidade.

Os navios voltados para a GM atuais são predominantemente tripulados. Mesmo com o uso de UUV, as unidades tripuladas ainda precisam participar da fase de neutralização de minas, impondo exigências rigorosas em termos de assinaturas magnéticas e resistência a impactos. Esses requisitos necessitam frequentemente de soluções especializadas, materiais não convencionais e construções com materiais absorventes de choque, tendendo a aumentar, significativamente, os custos associados ao projeto, aquisição e manutenção (Midtgaard; Nakjem, 2018).

A transição para novas capacidades de CMM pode representar uma transformação substancial, com o avanço tecnológico dos veículos não tripulados progredindo rapidamente e com sistemas operacionais já realizando partes das operações de CMM sem a presença de pessoal no campo minado. Num futuro próximo, espera-se que operações completas de caça e varredura de minas possam ser conduzidas com toda a equipe a uma distância segura (Midtgaard; Nakjem, 2018).

O desenvolvimento de novas plataformas e sistemas na Europa e nos EUA vem seguindo algumas abordagens em comum. A implantação de sistemas modulares em embarcações pode resultar no desempenho tanto de funções de caça quanto de varredura de minas, unificando-as em vez de manter duas classes distintas de navios. A expansão significativa do uso de veículos não tripulados, tanto na superfície quanto abaixo d'água, permitirá que o navio principal, tripulado, opere a uma distância segura fora da área minada. Os sistemas de CMM construídos com módulos substituíveis facilitarão a adaptação das embarcações para cada operação específica (Midtgaard; Nakjem, 2018).

Vários países lançaram programas específicos de aquisição para novas capacidades de CMM não tripuladas. Os EUA com seus pacotes de missão de CMM para

o LCS, incluindo elementos-chave como VSNT, UUV e aeronaves não tripuladas (ANT); o Reino Unido e a França estão engajados em uma iniciativa conjunta que também incorpora VSNT, UUV e ANT; e a Suécia está implementando um programa de aquisição para uma nova capacidade de varredura de minas modular e leve (Midtgaard; Nakjem, 2018).

A Marinha Real do Reino Unido considera algumas vantagens no processo de tomada de decisão para o emprego de veículos não tripulados. O motivo mais evidente é concretizar o desejo de retirar os seres humanos do campo minado. Utilizar robôs diminui o perigo para a vida humana, já que um meio de CMM e sua tripulação não precisam mais adentrar uma área potencialmente minada. Além disso, isso elimina a necessidade de um NV executar uma tarefa lenta e meticulosa em uma zona que também pode estar sob ameaça de ataques aéreos, de mísseis ou de superfície (Navy Lookout, 2021).

Dispositivos autônomos não tripulados têm o potencial de reduzir significativamente os custos operacionais de várias missões devido à sua capacidade de serem projetados em tamanhos menores e mais leves, sem a necessidade de suportar requisitos humanos como espaço, suporte de vida e proteção especial contra ameaças. Historicamente, o custo de veículos está diretamente relacionado à sua massa, com reduções nesta resultando em economias substanciais nos custos (National Research Council, 2005).

Não há dúvidas de que o custo é um fator significativo na tomada de decisão. Requerer um número muito menor de pessoas e eliminar a necessidade de substituir antigos NV extremamente caros é uma grande atração para uma marinha que visa equilibrar recursos limitados. Mesmo considerando o investimento em desenvolvimento, os custos de capital dos sistemas autônomos são provavelmente cerca de 30% dos sistemas tripulados, e os custos ao longo da vida são ainda menores (Navy Lookout, 2021).

Há diversas razões para integrar sistemas não tripulados em operações de CMM além da redução do risco humano. A modularidade dos sistemas permite flexibilidade para realizar o transporte por carro, avião ou navio. Os módulos podem ser combinados de diferentes maneiras para assegurar uma configuração ideal em cada missão. Além disso, os sistemas não tripulados oferecem uma capacidade em escala ajustando o número de unidades conforme necessário. O tempo de fabricação para novas unidades é reduzido em comparação com os meios de CMM especializados atuais, resultando em custos unitários significativamente menores. Em tempos de crise, a capacidade total de MCM pode ser rapidamente aumentada pela produção de unidades adicionais (Midtgaard; Nakjem, 2018).

A tecnologia de minas marítimas está evoluindo rapidamente, com estas tornando-se mais inteligentes e capazes de distinguir alvos, resistir a contramedidas e, até mesmo, se realocar diante de condições predefinidas. Com um deslocamento muito pequeno, um veículo não tripulado é inerentemente mais furtivo e ágil do que um meio de CMM tripulado. A marinha britânica afirma que seus novos sistemas de CMM não tripulados já provaram

ser muito mais rápidos em operação e podem encontrar minas, mesmo nas piores condições, cinco a dez vezes mais rápido do que os navios atuais (Navy Lookout, 2021).

Os novos sistemas autônomos de contramedidas de minagem são compactos o suficiente para serem transportáveis por via aérea ou para caber no contêineres de missão adaptável a bordo de plataformas maiores. Isso oferece uma grande vantagem tática e até estratégica. Se houver uma ameaça potencial conhecida de minas, em vez de correr um grande risco ao avançar ou esperar semanas para que um navio de CMM chegue, os meios não tripulados podem ser enviados à frente da força para caçar e limpar minas imediatamente (Navy Lookout, 2021).

No entanto, algumas desvantagens e desafios podem ser atribuídos aos novos sistemas e tecnologias que não empregam tripulações convencionais. Algumas questões são aplicáveis a todos os tipos de sistemas não tripulados e pilotados remotamente, enquanto outras são específicas para a GM.

Um navio dedicado à GM tradicional, com sua tripulação, proporciona uma presença visível e, além de sua função principal, pode também ser utilizado para patrulhamento. Sem meios aéreos ou de superfície em apoio próximo, o que anularia muitas de suas vantagens, o veículo não tripulado é mais vulnerável do que uma embarcação tripulada, principalmente pela sua limitada capacidade de autoproteção (Navy Lookout, 2021).

Qualquer embarcação que navega no mar enfrenta um ambiente hostil e está sujeita a falhas. Por mais bem projetado que seja, é inevitável que alguma parte de um sistema não tripulado possa falhar ocasionalmente, comprometendo sua confiabilidade. Algo que poderia ser relativamente simples para um marinheiro consertar no local pode tornar o sistema inutilizável e até mesmo dificultar o seu retorno à base. Embora o operador remoto receba imagens para auxiliar na tomada de decisões, pode haver momentos em que o VRO não substitui a experiência, instintos e habilidade manual de um operador ou mantenedor naval (Navy Lookout, 2021).

Os fatores ambientais são desafios aos sistemas mecânicos dos veículos não tripulados, impondo a necessidade de resistir à neve e ao gelo, ventos fortes e calor extremo. Condições climáticas adversas podem, temporariamente, impedir ou interromper o trabalho de um meio de CMM, mas permanecendo na área de operação. Ao contrário, para evitar ser completamente perdido ou sofrer danos graves, o dispositivo não tripulado deve retornar à base ou ao seu navio-mãe em caso de mau tempo (Navy Lookout, 2021).

Para manter o controle sobre o equipamento remoto e garantir a autonomia na tomada de decisões, é fundamental ter acesso, sem interferências, ao espectro eletromagnético. O controle pode ser realizado por meio de links de dados por rádio, a partir de um navio ou de alguma base terrestre próxima à área de operações. Adversários estão intensificando esforços para bloquear esses canais de comunicação, utilizando

interferência, potencialmente atacando satélites e tentando invadir sistemas cibernéticos. Caso o contato seja perdido, o veículo deve possuir capacidade autônoma suficiente para retornar à base, mas, provavelmente, teria sua missão abortada (Navy Lookout, 2021).

Avanços na inteligência artificial podem, eventualmente, permitir sistemas totalmente independentes no futuro, mas há resistência significativa em adotar operações sem controle humano, especialmente no manuseio de explosivos em minas suspeitas.

Segundo o exposto, verifica-se que os sistemas não tripulados aplicáveis à GM possuem, com o atual desenvolvimento tecnológico, capacidade de incrementar as tarefas de minagem e CMM, ofensivas e defensivas, contemplando as opções de varreduras citadas. Entretanto, é importante ressaltar as vantagens e desvantagens características dos dispositivos, de acordo com o ambiente operacional. A evolução das pesquisas tende a reduzir os desafios, e a incorporação dessas tecnologias nas principais marinhas do mundo pode fortalecer cada vez mais a doutrina e o uso de suas capacidades observadas.

4.4. REQUISITOS PARA FUTURAS ALTERNATIVAS NA GUERRA DE MINAS

Em face das características específicas ao ambiente operacional onde as embarcações envolvidas na minagem ou em CMM operam, é importante estabelecer alguns critérios que fundamentem as decisões futuras. Novas aquisições de meios navais, inovações tecnológicas, revitalização e modernização do inventário de equipamentos e sensores devem cumprir requisitos que estejam em conformidade com os conceitos doutrinários, especificações técnicas e com a evolução da tecnologia.

É determinante que as soluções visualizadas tenham a atenção voltada às assinaturas magnéticas e acústicas, desde as fases iniciais do projeto, possuindo a capacidade de operar sistemas de desmagnetização. Outros aspectos igualmente importantes incluem a agilidade de manobra e a precisão de posicionamento, utilizando GPS¹⁷ e “bow thrusters”¹⁸. Normalmente, navios de CMM são lentos e possuem baixa autonomia, sendo empregados, na maioria das vezes, próximos à costa (Vogt, 2019).

Novas perspectivas para os futuros meios de CMM deverão envolver o aumento da proteção contra os efeitos das explosões de minas, garantindo a segurança do pessoal a bordo e a integridade dos sensores embarcados. Adicionalmente, deve-se buscar alcançar um elevado desempenho dos sistemas, assegurando alta disponibilidade, confiabilidade, precisão e eficiência na varredura de áreas minadas ou suspeitas (Vogt, 2019).

¹⁷ GPS significa “Global Positioning System”, ou Sistema de Posicionamento Global. Trata-se de um sistema de navegação via satélite que permite determinar a localização precisa de um objeto ou pessoa em qualquer lugar do mundo, a qualquer hora e em qualquer condição meteorológica.

¹⁸ “Bow thrusters”, ou propulsores de proa, são dispositivos instalados na parte frontal (proa) de um navio ou embarcação, usados para fornecer maior capacidade de manobra.

Requisitos cada vez mais rigorosos levam, conseqüentemente, a um aumento nos custos e equipamentos de alto desempenho a bordo são sofisticados e caros. Um alto grau de proteção contra explosões de minas, assinaturas reduzidas, velocidades mais altas, maiores alcances e boas qualidades náuticas resultam em navios com maior deslocamento e em projetos de maior envergadura. A conseqüência é o aumento dos custos de aquisição, operação e manutenção, resultando na redução do número de navios adquiríveis devido às restrições orçamentárias crescentes (Vogt, 2019).

No decorrer do estudo dos conceitos teóricos e análises das aplicações vigentes nas principais marinhas, foram identificadas três tecnologias consideradas essenciais, nos requisitos apontados, para uma embarcação ser capaz de realizar as tarefas atribuídas a um NCM. A presença de um sonar de alta resolução, a utilização de VRO ou UUV, e a disponibilidade de um Sistema de Posicionamento Dinâmico (Archambault et al., 2017).

Os sonares de alta resolução conseguem identificar pequenos objetos no fundo do mar, como a poita de uma mina de fundeio ou uma mina de fundo. A presença desse tipo de sonar em embarcações destinadas à caça de minas permite que elas cumpram as fases de detecção, análise e, em alguns casos, classificação de objetos submersos. Entre os sonares de alta resolução, dois tipos se destacam como os mais eficazes para a caça de minas e são, frequentemente, usados de forma complementar: o Sonar de Abertura Sintética e o Sonar de Varredura Lateral (Tellez; Borghgraef; Mersch, 2017).

Mesmo com a evolução tecnológica, os sonares ainda não permitem uma classificação segura e definitiva de um objeto como uma potencial mina. Portanto, é necessário um dispositivo adicional que possa realizar essa tarefa de maneira confiável. Além disso, quando um objeto é identificado positivamente como mina, é vital que ele seja neutralizado ou destruído para garantir a segurança da área. Os NV devem possuir dispositivos específicos para acionar minas de influência ao passarem sobre elas, resultando em sua detonação, e para cortar os cabos de amarração das minas de fundeio, trazendo-as à superfície para subsequente detonação (Archambault et al., 2017).

Esses navios conseguem realizar, simultaneamente, as fases de busca e neutralização. Já os NCM, devido à sua metodologia de operação, não acionam minas nem cortam seus cabos de amarração durante a fase de busca. Por essa razão, é necessário um dispositivo adicional que execute a sua destruição. Para atender a essa necessidade, os NCM deverão ser equipados com VRO ou UUV capazes de realizar as fases de classificação e neutralização/destruição de artefatos explosivos (Archambault et al., 2017).

Os navios de CMM devem navegar com precisão em áreas minadas, garantindo que não se desviem para áreas não inspecionadas. Além disso, esses navios precisam lançar os seus veículos subaquáticos dentro do campo minado e manter uma posição segura durante o lançamento. Adicionalmente, os drones são programados para retornarem à

posição de lançamento em caso de perda de sinal. Caso o navio-mãe se mova de sua posição inicial, por qualquer motivo, há o risco de se perder o equipamento (Committee for Mine Warfare Assessment, 2001).

4.5 SOLUÇÕES CONCEITUAIS PARA A MARINHA DO BRASIL

Após analisar uma gama de conhecimentos nos capítulos anteriores, com o propósito de subsidiar uma solução conceitual para futuras decisões, é possível traçar um esboço de alternativas para a adoção pela MB que viabilize a substituição da capacidade atual existente de GM.

Os recentes avanços tecnológicos, especialmente no campo da autonomia, estão diminuindo a vantagem que as minas navais detinham diante das contramedidas utilizadas. Embora sistemas robóticos para CMM existam há décadas, os progressos na inteligência artificial permitiram a criação de VSNT e UUV verdadeiramente autônomos. Esses veículos podem operar em rede para realizar missões de caça e destruição de minas de forma mais rápida e eficiente. Com melhorias em sistemas de detecção e classificação, como o sonar de abertura sintética, a necessidade de NCM entrarem em campos minados foi significativamente reduzida (Waters, 2024).

Avanços tecnológicos em CMM podem ser configurados em sistemas modulares e transportáveis, exigindo soluções cuja implantação seja cada vez mais eficaz. Atualmente, é possível separar esses equipamentos de uma plataforma específica, reduzindo a necessidade de navios especializados. Operações defensivas costeiras podem ser conduzidas a partir de centros de controle terrestres ou embarcações de oportunidade, enquanto operações de varredura em assaltos anfíbios podem utilizar navios expedicionários. No entanto, missões mais complexas ou duradouras ainda exigirão plataformas marítimas para a instalação desses sistemas, especialmente em operações longe de costas amigas (Waters, 2024).

Para atender à necessidade de atualização, muitas marinhas têm reequipado suas plataformas de CMM com sistemas autônomos de última geração, mantendo capacidades tradicionais, enquanto adotam novas tecnologias. Alguns estados prolongam a vida útil de seus meios dessa forma, enquanto outros adquirem unidades de segunda mão para atualizar. Marinhas mais conservadoras preferem adquirir plataformas tradicionais que possam operar veículos autônomos em campos minados. Um exemplo é a Marinha da Indonésia, que adquiriu dois NCM da Classe “Pulau Fani”, da Alemanha, com cascos de aço não magnético e embarcações “SWATH” para operação (Forças de Defesa, 2023).

Um problema significativo com essa solução é o tamanho reduzido das embarcações tradicionais, limitando a quantidade de equipamento autônomo que podem

transportar. A marinha italiana, como exemplo, planeja reconstituir sua força de CMM envelhecida, com navios construídos com casco de fibra de vidro composto, começando com NCM costeiros de 60 m e depois navios oceânicos de 80 m (Waters, 2024).

Apesar das vantagens, construir grandes meios com materiais não magnéticos é extremamente caro, como demonstrado pelo programa da marinha alemã. Após rejeitar uma flotilha mista, a Alemanha decidiu pela modernização dos navios já existentes. Isso resultará em plataformas com quase 50 anos, incapazes de atender plenamente às necessidades futuras de CMM (Waters, 2024).

Uma opção para lidar com as restrições de custo envolve a aquisição de navios-mãe personalizados e otimizados para a implantação de uma variedade de veículos autônomos sem a necessidade de entrar em águas minadas. Um exemplo proeminente desse conceito é o projeto Belgo-Holandês de CMM, no qual a Bélgica e os Países Baixos colaboram para adquirir doze navios-mãe, cada um equipado com uma variedade de sistemas autônomos associados (Naval News, 2023).

Os navios-mãe, com mais de 2.800 toneladas e quase 83 metros de comprimento, estão aptos para abrigar sistemas autônomos principais, especialmente os UUV que possuem a capacidade de integrar uma variedade de sistemas, incorporando sonares rebocados, módulos de varredura de minas e robôs de identificação e minagem. Além disso, os navios-mãe incluem um convoo e hangar para operar ANT, bem como instalações completas de C² para a tripulação e operadores de sistemas modulares (Waters, 2024).

Uma adaptação do conceito de navios-mãe pode ser verificada no projeto original dos LCS da Marinha dos EUA. Esse conceito incluía a capacidade de reconfigurar o navio por meio da instalação de vários módulos de missão, englobando módulos de guerra antissubmarino, guerra de superfície e CMM. No entanto, apesar das expectativas de troca rápida de módulos, o conceito enfrentou dificuldades significativas no desenvolvimento e implementação, resultando em uma redução da frota de LCS (Pedersen, 2021).

Em vez de continuar com a ideia original, uma frota menor de navios da Classe "Independence" será dedicada às CMM. Este reposicionamento reflete uma estratégia mais focada e adaptada às necessidades operacionais específicas, deixando de lado a flexibilidade excessiva em favor de uma configuração mais especializada e eficaz para as missões designadas. O foco está em componentes avançados de CMM, como o sistema não tripulado de varredura de influência e o sonar de AN/AQS-20C, que serão lançados por dois UUV autônomos especializados (Waters, 2024).

A experiência negativa do programa dos LCS sugere que a ideia de realizar operações contínuas de contramedidas de minas a partir de navios multiuso enfrenta desafios em questões técnicas e na manutenção de habilidades operacionais adequadas para missões complexas de GM em navios frequentemente reconfigurados. No entanto, o

emprego crescente de sistemas modulares em embarcações de superfície representa um avanço importante. Isso viabiliza a flexibilidade de implantar sistemas de CMM a partir de uma gama mais ampla de plataformas, embora sem a capacidade integral de uma embarcação especializada em GM (Waters, 2024).

Em vez de construir navios-mãe sob medida, uma alternativa é adaptar embarcações comerciais existentes para instalar os pacotes de CMM assim como vem demonstrando a Marinha Real Britânica (Defence Equipment & Support , 2024).

A incerteza em relação ao futuro dos meios de CMM, devido à rápida evolução da tecnologia na área, é resultado de um ceticismo significativo entre os especialistas sobre a eficácia dos novos sistemas, como os veículos autônomos. Além disso, algumas marinhas desejam manter a capacidade de operar em campos minados, possivelmente motivadas pelo desejo de maximizar vantagens industriais nacionais em tecnologias como cascos não magnéticos. A experiência da marinha alemã e de outras indica que essa postura conservadora pode ser financeiramente custosa. Assim, a adoção generalizada de navios-mãe especializados, em substituição aos tradicionais NCM e NV, pode depender do desempenho real desses novos sistemas em operações reais (Waters, 2024).

Um conceito proposto pelos cientistas do Instituto de Pesquisa de Defesa da Noruega, Øivind Midtgaard e Morten Nakjem, estabelece uma solução que emprega as novas tecnologias aplicadas à caça de minas navais, à distância, baseado na colaboração de veículos não tripulados. O conceito utiliza uma variedade de tecnologias em robótica marinha desenvolvidas por empresas norueguesas desde o início dos anos 1990. Enquanto várias marinhas, atualmente, utilizam UUV para coleta de dados sonar na caça de minas, a novidade do conceito proposto é que ele consiste, exclusivamente, de sistemas não tripulados e introduz automação inteligente para aumentar a eficiência e eficácia das operações (Midtgaard; Nakjem, 2018).

Tradicionalmente, a caça de minas submarinas é conduzida por navios de superfície de baixa assinatura equipados com sonares de casco para detecção e classificação de minas, além de empregar mergulhadores ou VRO para identificação e neutralização. A fase de detecção é iniciada com a plataforma tripulada seguindo um padrão pré-planejado de linhas de levantamento paralelas, onde os contatos são processados sequencialmente. Quando um eco semelhante ao de uma mina é detectado nos dados do sonar, a operação de levantamento é interrompida até que o objeto do eco seja classificado, identificado e neutralizado, ou considerado como não sendo uma mina, enquanto o sonar de classificação monitora, continuamente, a posição relativa do eco. Em seguida, a plataforma tripulada retoma a fase de detecção (Midtgaard; Nakjem, 2018).

Os sistemas modernos de caça de minas empregam UUV equipados com sonares de varredura lateral de alta resolução para, inicialmente, explorar toda a área designada e

identificar todos os contatos que se assemelham a minas. A identificação e neutralização são, então, realizadas por meio de mergulhadores, VRO ou armas de neutralização de um único disparo, todos lançados a partir de um meio tripulado de superfície. Cada contato precisa ser novamente localizado com base na sua posição global estimada durante a fase de busca, classificação e mapeamento (Midtgaard; Nakjem, 2018).

Um UUV equipado com câmera óptica pode eficientemente coletar dados para identificar todos os contatos em uma única operação, reduzindo, consideravelmente, a necessidade de lançar recursos de neutralização para múltiplos contatos. Essa economia de tempo é particularmente vantajosa em áreas com alta densidade de contatos. Quando o objetivo da operação de CMM é estabelecer uma rota segura por uma área, a neutralização pode ser limitada ao mínimo necessário de minas que não podem ser evitadas (Midtgaard; Nakjem, 2018).

A proposta retira as embarcações tripuladas tradicionais do conceito da operação. Consiste em operar com um VSNT para transportar os UUV rapidamente para o local de levantamento de informações, com o propósito de realizar uma varredura detalhada da área, utilizando um sonar de abertura sintética, com a capacidade de processamento automatizado de reconhecimento de alvos. O UUV desempenha um papel vital como um elo de comunicação, utilizando conexões acústicas para outros UUV e uma ligação por rádio com a base de operações. A capacidade de enlaces de rádio opcionais em ANT pode estender, ainda mais, o alcance da comunicação, permitindo a transmissão de dados de status e resultados da operação para a base, enquanto os comandos são enviados de volta para os UUV (Midtgaard; Nakjem, 2018).

Durante a operação, o veículo, constantemente, avalia o desempenho de seus sistemas em tempo real e, com base nessas avaliações, ajusta o seu comportamento para atender aos objetivos específicos da missão. Após a conclusão da fase inicial de varredura, um novo plano de missão é automaticamente gerado para que os UUV captem imagens dos alvos identificados usando câmeras ópticas. As minas confirmadas são, então, neutralizadas eficazmente através do lançamento de uma arma de eliminação de minas, a partir do próprio UUV, garantindo a segurança contínua da área mapeada (Midtgaard; Nakjem, 2018).

5 CONCLUSÃO

Esta dissertação examinou as capacidades atuais e futuras da Guerra de Minas para a Marinha do Brasil, comparando-as com o existente no cenário internacional e ajustando-as às inovações tecnológicas do século XXI, visando a contribuir para a dissuasão contra possíveis adversários.

As minas marítimas foram armas de relevância significativa no passado, especialmente durante os conflitos do século XX. No século XXI, observamos que as minas ainda têm um papel de destaque, demonstrando o seu potencial em diferentes cenários e áreas de operação.

Ao longo da história, a GM continuou a evoluir constantemente, tanto em termos de tecnologia dos explosivos quanto nos recursos dedicados às operações de CMM. Durante esse período, foram feitos investimentos significativos para manter a eficácia dos campos minados e para garantir a segurança da navegação marítima.

Os fundamentos doutrinários, os conceitos e as definições que abrangem a teoria relacionada à minagem e às contramedidas de minagem formam um arcabouço basilar para o entendimento da evolução procedimental e tecnológica. O estudo do ambiente marítimo, suas características, possibilidades e limitações ampliam a capacidade de argumentação em relação aos subsídios para decisões nessa área de conhecimento.

A eficácia comprovada do uso de minas navais em conflitos globais, juntamente com o avanço tecnológico desses dispositivos e a necessidade urgente de proteger a segurança dos indivíduos e das embarcações envolvidas em operações de CMM, levou as Marinhas a investirem, consideravelmente, em veículos autônomos. Além disso, a expansão da coleta de informações, vigilância e reconhecimento submarino também impulsionou esses investimentos.

A Marinha do Brasil enfrenta a necessidade de modernizar os seus recursos de CMM, incorporando tecnologias avançadas que atendam às novas doutrinas operacionais essenciais para o sucesso dessas missões. Essa atualização é imprescindível para garantir a segurança e proteger os interesses nacionais.

Atualmente, as principais forças estatais estão investindo significativamente em tecnologias avançadas para a implementação de sistemas marítimos não tripulados, refletindo uma tendência emergente na GM. Enquanto os navios de CMM tradicionais continuam a ser construídos, observa-se uma transição para as embarcações capazes de integrar e operar veículos não tripulados simultaneamente. Essa mudança permite que as marinhas conduzam operações ativas de CMM de maneira mais eficiente e com menor risco para suas tripulações, adaptando-se ao aumento global na capacidade de minagem.

Os antigos NCM e NV são limitados à caça e às varreduras tradicionalmente realizadas, enquanto as novas plataformas oferecem uma abordagem mais abrangente,

complementando suas capacidades com outros meios para operações de CMM. Esta evolução não implica na obsolescência do conceito de NCM, mas sim na incorporação de novas Táticas, Técnicas e Procedimentos para o uso de veículos não tripulados, mantendo a consistência com as doutrinas operacionais estabelecidas pelas marinhas de referência.

A recente guerra entre Rússia e Ucrânia destaca o papel crescente dos sistemas não tripulados na redução de custos para países com menor poder militar e econômico enfrentarem ameaças de adversários mais poderosos. Embora esses Estados não alcancem as capacidades das potências navais, o uso de drones tem demonstrado eficácia em mitigar a ofensiva inimiga, retardando as suas operações. As soluções para integrar veículos autônomos na MB visam a superar as limitações operacionais dos Navios-Varredores da Classe “Aratu” e seguir o avanço global em meios automatizados, com inteligência artificial e integração de sistemas de combate.

Há uma tendência crescente de empregar automatismo em diversas modalidades, seja na construção de novos meios de CMM, na adaptação de navios com sistemas modulares ou em plataformas controladas por terra. Cada país aborda as novas tecnologias de GM de maneira única, refletindo a complexidade e a diversidade de necessidades e capacidades militares globais. Esses esforços são direcionados para manter todas as formas de CMM ativas e passivas, enfrentando ameaças de minagem por atores não estatais, o aumento do estoque global de minas e a evolução das tecnologias aplicadas às minas marítimas inteligentes.

REFERÊNCIAS

A REFERÊNCIA. Navio de carga atinge mina naval no mar negro a caminho da Ucrânia e deixa feridos. **A Referência**, 2023. Disponível em: <https://areferencia.com/europa/navio-de-carga-atinge-mina-naval-no-mar-negro-a-caminho-da-ucrania-e-deixa-feridos/>. Acesso em: 15 mai. 2024.

ALMEIDA, Marco A. P. D.; FILHO, José C. P. A Avaliação Operacional e a Guerra de Minas. **Revista Marítima Brasileira**, p. 6, 3^oT 2007.

ARCHAMBAULT, Deana et al. **A ROADMAP OF THE FUTURE OF MINE COUNTERMEASURES**. Naval Postgraduate School. Monterey, California, p. 1654. 2017. (7540-01-280-5500).

ARMED FORCES. European Defense. **European Defense Sea Equipment**, 2024. Disponível em: <http://www.armedforces.co.uk/Europeandefence/edequipment/edsea/edsea5a4.htm>. Acesso em: 27 jun. 2024.

ARMY RECOGNITION GROUP. British Navy Sandown Class Minehunter HMS Ramsey M110 joins NATO Minehunting Force in Baltic Naval News. **Global Defense News**, 2020. Disponível em: https://armyrecognition.com/news/navy-news/2020/british-navy-sandown-class-minehunter-hms-ramsey-m110-joins-nato-minehunting-force-in-baltic#google_vignette. Acesso em: 27 jun. 2024.

ARTHUR, Vice A. S. Low-technology mines are one of the most cost-effective. **SEMAPHORE**, Canberra, nov. 2010. 2.

BAHTIĆ, Fatima. Construction starts on Polish Navy's 4th Kormoran II minehunter. **Naval Today**, 2023. Disponível em: <https://www.navaltoday.com/2023/03/31/construction-starts-on-polish-navys-4th-kormoran-ii-minehunter/>. Acesso em: 27 jun. 2024.

BALL, JAMES E. **THE EFFECTS OF SEA MINING UPON AMPHIBIOUS WARFARE**. Fort Leavenworth: University of Hawaii, 1992.

BAYNES, T.M.; RUSSELL, G.J.; BAILEY, A. Laboratory Simulation of the Deperm Process. **DEFENCE SCIENCE & TECHNOLOGY**, Edinburgh South Australia, ago. 2002. 18.

BRASIL. Estado-Maior da Armada. EMA-135. **MANUAL DE DIREITO INTERNACIONAL APLICADO ÀS OPERAÇÕES NAVAIS**, Brasília, n. Rev 2., p. 177, 2017a.

BRASIL. Estado-Maior da Armada. EMA-305. **DOCTRINA MILITAR NAVAL**, Brasília, D.F., 2017b.

BRASIL. Estado-Maior da Armada. EMA-301. **FUNDAMENTOS DOCTRINÁRIOS DA MARINHA**, n. 1^a, p. 54, 2023a.

BRASIL. Estado-Maior da Armada. EMA-310. **ESTRATÉGIA DE DEFESA MARÍTIMA**, Brasília, n. 1^a, p. 48, 2023b.

BRITANNICA, The E. O. E. **Britannica**, 2024. Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Alfred-Thayer-Mahan>. Acesso em: 22 mai. 2024.

BRITANNICA, The E. O. E. **Britannica**, 2024. Disponível em: <https://www.britannica.com/place/Strait-of-Dover>. Acesso em: 25 mai. 2024.

BUNDESWEHR. 3 Minesweeper Squadron. **Bundeswehr**, 2024. Disponível em: <https://www.bundeswehr.de/en/organization/navy/organization/flotilla-1/3-minesweeper-squadron>. Acesso em: 28 jun. 2024.

CHILLSTROM, John S. **Mines Away! The Significance os U.S. Army Air Forces Minelaying in World War II**. Alabama: Air University, 1992.

COMMITTEE FOR MINE WARFARE ASSESSMENT. **Naval Mine Warfare Operational and Technical Challenges for Naval Forces**. National Research Council. Washington, D.C., p. 197. 2001. (0-309-07578-5).

CONTACTO. Na Ucrânia se poder voltar as praias daqui a 70 anos. **Contacto**, 2023. Disponível em: <https://www.contacto.lu/mundo/na-ucrania-s-se-poder-voltar-as-praias-daqui-a-70-anos-est-o-minadas/1374557.html>. Acesso em: 11 mai. 2024.

DEFENCE EQUIPMENT & SUPPORT. Autonomous Mine-Hunting Systems. **DE&S**, 2024. Disponível em: <https://des.mod.uk/what-we-do/navy-procurement-support/autonomous-mine-hunting-systems/>. Acesso em: 27 jun. 2024.

DOUGLAS, A. J. Get Serious About Countering China's Mine Warfare Advantage. **Proceedings**, v. 149/6/1444, jun. 2023.

EURONEWS. Minas provenientes da Ucrânia a deriva no Mar Negro. **Euronews**, 2022. Disponível em: <https://pt.euronews.com/2022/03/29/minas-provenientes-da-ucrania-a-deriva-no-mar-negro>. Acesso em: 10 mai. 2024.

FERRAZ, Nicolau. Vídeo: Exército ucraniano desarma bomba aquática em praia de Odessa. **Metrópoles**, 2022. Disponível em: <https://www.metropoles.com/mundo/video-exercito-ucraniano-desarma-bomba-aquatica-em-praia-de-odessa>. Acesso em: 14 mai. 2024.

FORÇAS DE DEFESA. Naval. Abeking Rasmussen entrega dois caça-minas a Marinha da Indonesia. **Poder Naval**, 2023. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2023/06/06/abeking-rasmussen-entrega-dois-caca-minas-a-marinha-da-indonesia/>. Acesso em: 28 jun. 2024.

GOLDA, E.Michael. The Dardanelles Campaign. **Naval War College Review**, v. 51, n. 3, p. 15, 1998.

HAIA, VIII C. D. **San Remo Manual on International Law Applicable to Armed Conflicts at Sea**. San Remo: [s.n.]. 1994. p. 21.

INTERNATIONAL INSTITUTE OF HUMANITARIAN LAW. **San Remo Manual on International Law Applicable to Armed Conflicts at Sea**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1995.

JOINT CHIEFS OF STAFF. **JP 3-15 - Barriers, Obstacles, and Mine Warfare for Joint Operations**. [S.l.]: [s.n.], 2018.

MASON, Captain G. A. Operation Starvation. **Maxwell Air Force Base**, Alabama, p. 21, fev. 2002.

MEACHAM, Commander J. A. Four Mining Campaigns: An Historical Analysis of the Decisions of the Commanders. **Naval War College Review**, Newport, v. 20, p. 160, jun. 1967.

MIDTGAARD, Øivind; NAKJEM, Morten. Ummaned Systems for Stand-off Underwater Mine Hunting. **Norwegian Defence Research Establishment (FFI)**, Kejeller; Horten, p. 7, mar. 2018.

MINISTÈRE DES ARMÉES. Direction générale de l'armement. **Le système de lutte anti-mines marines futur (SLAMF)**, 2024. Disponível em: <https://www.defense.gouv.fr/dga/systeme-lutte-anti-mines-marines-futur-slamf#:~:text=Les%20objectifs%20du%20programme%20sont,et%20la%20pr%C3%A9vention%20de%20crises>. Acesso em: 27 jun. 2024.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **MANUAL DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS DAS FORÇAS ARMADAS**. 4ª. ed. Brasília: [s.n.], 2021.

NAIN, Hasril; ISA, Mahdi C.; MUHAMMAD, Mohd M.; YUSOFF, Nik H. N.; YATI, Mohd S. D.; NOR, Irwan M. MANAGEMENT OF NAVAL VESSELS' ELECTROMAGNETIC SIGNATURES: A REVIEW OF SOURCES AND COUNTERMEASURES. **Defence S&T Tech**, Malaysia, nov. 2013. 18.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Oceanography and Mine Warfare**. Washington, DC: NATIONAL ACADEMY PRESS, 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Autonomous Vehicles in Support of Naval**. National Research Council. Washington, DC, p. 256. 2005. (ISBN: 0-309-55115-3).

NAVAL NEWS. Naval Group Launches The First MCM Mothership For The Belgian Navy. **Naval News**, 2023. Disponível em: <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/03/video-naval-group-launches-the-first-mcm-mothership-for-the-belgian-navy/>. Acesso em: 27 jun. 2024.

NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND. NAVSEA. US Navy announces first mine countermeasures mission package embarked on USS Canberra. **NAVSEA**, 2024. Disponível em: <https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article-View/Article/3755561/us-navy-announces-first-mine-countermeasures-mission-package-embarked-on-uss-ca/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

NAVAL TECHNOLOGY. Alkmaar-Class Mine Countermeasures Vessels, Netherlands. **Naval Technology**, 2023. Disponível em: <https://www.naval-technology.com/projects/alkmaar-class-mine-countermeasures-vessels-netherlands/?cf-view>. Acesso em: 27 jun. 2024.

NAVY LOOKOUT. Autonomous systems – the future of Royal Navy mine warfare. **Navy Lookout - Independent Royal Navy news and analysis**, 2021. Disponível em: <https://www.navylookout.com/autonomous-systems-the-future-of-royal-navy-mine-warfare/>. Acesso em: 29 jun. 2024.

OTAN. nmwcoe. **NATO NAVAL MINE WARFARE CENTRE OF EXCELLENCE**, 2024. Disponível em: <https://www.nmwcoe.org/>. Acesso em: 27 jun. 2024.

PEDERSEN, Ben. Naval Mine Warfare: The Times, They Are A-changing. **Proceedings**, v. 147/10/1424, out. 2021.

PENISTON, Bradley. **No higher honor: saving the USS Samuel B. Roberts in the Persian Gulf**. Anápolis: Naval Institute Press, 2006.

PINHEIRO, Guilherme. Turquia faz explodir mina russa que veio à deriva da Ucrânia até à sua costa. **Publico**, 2022. Disponível em: <https://www.publico.pt/2022/03/26/mundo/noticia/turquia-faz-explodir-mina-russa-veio-deriva-ucrania-ate-costa-2000286>. Acesso em: 13 mai. 2024.

PODER NAVAL. Rússia alerta para minas navais ucranianas que estão flutuando livremente no Mar Negro. **Poder Naval**, 2022. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2022/03/20/russia-alerta-para-minas-navais-ucranianas-que-estao-flutuando-livremente-no-mar-negro/>. Acesso em: 16 mai 2024.

PODER NAVAL. Turquia bloqueará navios caça-minas destinados à Ucrânia. **Poder Naval**, 2024. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2024/01/04/turquia-bloqueara-navios-caca-minas-destinados-a-ucrania/>. Acesso em: 12 mai. 2024.

ROYAL NAVY. Equipments / Ships Hunt Class. **Royal Navy**, 2024. Disponível em: <https://www.royalnavy.mod.uk/equipment/ships/hunt-class>. Acesso em: 27 jun. 2024.

SARDONO SARWITO, Juniarko P.; KOENHARDONO, Eddy S.; KURNIAWAN, Anggela W. Study of Calculation of Degaussing System for Reducing Magnetic Field from Submersible Vehicle. **International Journal of Marine Engineering Innovation and Research**, mar. 2017. 68-75.

SAUL, Jonatan. Minas flutuam entre os estoques de grãos da Ucrânia e do mundo. **Defesa Aeronaval**, 2022. Disponível em: <https://www.defesaaereanaval.com.br/naval/minas-flutuam-entre-os-estoques-de-graos-da-ucrania-e-do-mundo>. Acesso em: 17 mai. 2024.

SEA POWER CENTRE. WHY AUSTRALIA NEEDS A MINE WARFARE CAPABILITY. **SEMAPHORE**, Canberra, jul. 2004. 2.

SENNA, Cláudio J. D. O Poder das Minas: Seu Emprego na Estratégia Naval Contemporânea. **Revista da Escola de Guerra Naval**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 109-211, jul./dez. 2011.

TELLEZ, Olga L. L.; BORGHGRAEF, Alexander; MERSCH, Eric. The Special Case of Sea Mines. In: CHARLES BEUMIER, D. C. V. L. N. M. A. Y. Y. **Mine Action - The Research Experience of the Royal Military Academy of Belgium**. Bruxelas: Intech, 2017. Cap. 11, p. 292.

THE ROYAL INSTITUTE OF INTERNATIONAL AFFAIRS. International Law Applicable to Naval Mines. **Chatam House**, out. 2014. 9.

UNITED STATES NAVY. Mine Countermeasures Ships - MCM. **AMERICA'S NAVY**, 2020. Disponível em: <https://www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2171622/mine-countermeasures-ships-mcm/>. Acesso em: 25 jun. 2024.

VALENTE, Raquel. Vídeo: mina submarina explode em praia na Ucrânia e deixa dois mortos. **Metrópoles**, 2022. Disponível em: <https://www.metropoles.com/mundo/video-mina-submarina-explode-em-praia-na-ucrania-e-deixa-dois-mortos>. Acesso em: 16 mai. 2024.

VAVASSEUR, Xavier. Intermarine Wins Contract For Italian Navy's New Generation MCM Vessel. **Naval News**, 2021. Disponível em: <https://www.navalnews.com/naval->

news/2021/02/intermarine-wins-contract-for-italian-navys-new-generation-mcm-vessel/. Acesso em: 27 jun. 2024.

VOGT, René. GUERRA DE MINAS – Parte I. **Revista Marítima Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 139, p. 115-128, jul.-set. 2019.

VOGT, René. GUERRA DE MINAS - Parte II. **Revista Marítima Brasileira**, Rio de Janeiro, p. 320, 4ºT 2019.

VOGT, René. GUERRA DE MINAS – Parte III: Conclusão. **Revista Marítima Brasileira**, Rio de Janeiro, p. 319, 2ºT 2020.

WATERS, Conrad. European Security & Defence. **Platforms for naval minehunting and mine disposal: Differing solutions to a common requirement**, 2024. Disponível em: <https://euro-sd.com/2024/03/articles/37095/37095/>. Acesso em: 02 jul. 2024.