

PRIMEIRO-TENENTE ALLAN OLIVEIRA DA SILVA DOS SANTOS

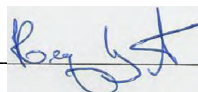
O EMPREGO DE VEÍCULOS SUBAQUÁTICOS NÃO TRIPULADOS NA GUERRA
ANTI-SUBMARINO – uma abordagem à luz da guerra centrada em redes

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial
à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Acústica.

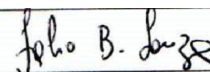
Aprovada em _____

Banca Examinadora:

CMG (RM1) Henrique Luiz Neto – CIAA

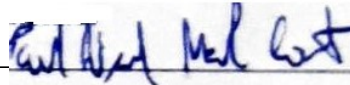


CF Fabio Barbosa Louza – CIAA



CC Daniel Gama de Sousa – CIAA

CT Paulo Ricardo Machado Costa – CAAML



João Carlos Machado – UFRJ



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

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
GUERRA ACÚSTICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**O EMPREGO DE VEÍCULOS SUBAQUÁTICOS NÃO TRIPULADOS NA GUERRA
ANTI-SUBMARINO – uma abordagem à luz da guerra centrada em redes**



PRIMEIRO-TENENTE ALLAN OLIVEIRA DA SILVA DOS SANTOS

Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE ALLAN OLIVEIRA DA SILVA DOS SANTOS

O EMPREGO DE VEÍCULOS SUBAQUÁTICOS NÃO TRIPULADOS NA GUERRA
ANTISSUBMARINO – uma abordagem à luz da guerra centrada em redes

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Alexandrino como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em
Guerra Acústica.

Orientadores:

Capitão-Tenente Paulo Ricardo Machado Costa

Professor João Carlos Machado

CIAA
Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE ALLAN OLIVEIRA DA SILVA DOS SANTOS

O EMPREGO DE VEÍCULOS SUBAQUÁTICOS NÃO TRIPULADOS NA GUERRA
ANTISSUBMARINO – uma abordagem à luz da guerra centrada em redes

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial
à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Acústica.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

João Carlos Machado – UFRJ _____

CT Paulo Ricardo Machado Costa – CAAML _____

CC Daniel Gama de Sousa – CIAA _____

Dedico esse trabalho àqueles que estiveram comigo em toda a minha trajetória: meus pais Jorge Walter e Luciene Oliveira, e à minha noiva Luiza Alves. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui. Obrigado por tudo!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar com saúde para conquistar meus objetivos, e por me colocar em uma família muito especial, onde sem eles nada eu seria. Agradeço aos meus pais Jorge Walter e Luciene Oliveira por sempre me incentivarem a estudar desde quando criança, antes de ingressar no Colégio Militar do Rio de Janeiro e, anos depois, no Colégio Naval.

Agradeço à minha noiva, Luiza Alves, que está comigo desde o meu 3º ano da Escola Naval, compartilhando dos momentos bons e ruins, e sempre me incentivando a melhorar e evoluir na minha carreira, e na vida. Sem este apoio incondicional, eu não teria chegado até aqui.

Agradeço ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino por dar todo o suporte para poder concluir este trabalho. Agradeço também ao CC Carlos Martins por ter me auxiliado em tudo o que foi possível, tanto no meu trabalho como no Curso de Guerra Acústica.

Agradeço aos meus orientadores: Professor João Carlos Machado e Capitão-Tenente Ricardo Costa. Obrigado pela calma, pela paciência, e por terem me ajudado a fazer o melhor que eu pude neste trabalho.

“A verdadeira motivação vem de realização, desenvolvimento pessoal, satisfação no trabalho e reconhecimento.”

Frederick Herzberg

O EMPREGO DE VEÍCULOS SUBAQUÁTICOS NÃO TRIPULADOS NA GUERRA ANTISSUBMARINO – uma abordagem à luz da guerra centrada em redes

Resumo

Em uma era onde a rápida troca de informações e a capacidade de operar em rede se tornam fundamentais para a eficácia operacional, os Veículos Submarinos Não Tripulados (UUVs) apresentam-se como ativos valiosos, ampliando o alcance, precisão e tempo de resposta das forças navais. A presente monografia explora o uso de UUVs em ações antissubmarino sob a ótica do conceito de Guerra Centrada em Redes (GCR). Através de uma revisão bibliográfica da literatura especializada, busca-se avaliar as potencialidades, desafios e implicações táticas e estratégicas do emprego desses veículos no contexto da GCR. A pesquisa também se debruça sobre a realidade da Marinha do Brasil, considerando as modernas aquisições, como as Fragatas Classe Tamandaré e os submarinos Classe Riachuelo, assim como a necessidade de desenvolvimento autóctone de sistemas de comunicação. O objetivo é avaliar como essa integração pode ser implementada na estrutura naval brasileira, garantindo segurança, autonomia e proeminência no cenário marítimo global. A pesquisa conclui que a integração de UUVs ao conceito de GCR não só reforça a capacidade de defesa antissubmarino, mas também posiciona a Marinha do Brasil como uma força naval contemporânea e adaptada às exigências do século XXI.

Palavras-chave: Veículos Submarinos Não Tripulados; Guerra Centrada em Redes; Ação Antissubmarino; Marinha do Brasil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelos de UUV de grande porte.....	13
Figura 2 – O conceito de GCR naval.....	19
Figura 3 – Arquitetura de GCR aplicada em operação AS.....	22
Figura 4 – AUV chinês capturado no Mar do Sul da China.....	27
Figura 5 – AUV aplicado em ação AS.....	31
Figura 6 – Lançamento ao mar do Submarino Humaitá	33

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AUV	<i>Autonomous Underwater Vehicle</i>
AS	Antissubmarino
ASW	<i>Anti-Submarine Warfare</i>
BID	Base Industrial de Defesa
GCR	Guerra Centrada em Redes
MB	Marinha do Brasil
NCW	<i>Network-Centric Warfare</i>
UUV	<i>Unmanned Underwater Vehicle</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa da pesquisa	12
1.2 Objetivos	12
1.3 Metodologia	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 Veículos Submarinos Não Tripulados na Guerra Antissubmarino	13
2.1.1 Evolução histórica dos UUV	15
2.1.1.1 Origens e Primeiras Implementações	15
2.1.1.2 Desenvolvimentos no Século XX	16
2.1.1.3 A Era Moderna	16
2.1.2 Tipologias e Capacidades dos UUV	17
2.1.2.1 Veículos Submarinos Autônomos	18
2.1.2.2 Veículos de Operação Remota (ROVs)	19
2.1.2.3 Veículos Híbridos	20
2.2 A Guerra Antissubmarino: conceitos e desafios	21
2.2.1 Táticas tradicionais	21
2.2.2 Transformações com a introdução de tecnologias disruptivas	22
2.3 Guerra Centrada em Redes (GCR)	24
2.3.1 Origem e Evolução da Guerra Centrada em Redes (GCR)	24
2.3.1.1 Primeiras Concepções e Motivações	25
2.3.1.2 Desenvolvimentos Tecnológicos Chave	25
2.3.1.3 Adoção e Refinamento	26
2.3.2 Princípios Fundamentais da Guerra Centrada em Redes (GCR)	26
2.3.3 Implicações táticas e estratégicas da GCR	26
3 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO PARA GCR	26
3.1 Importância das Comunicações na GCR	26
3.2 Tecnologias de Comunicação Submarina	26
3.2.1 Acústica	26
3.2.2 Ótica	26

3.2.3	Radiofrequência.....	26
3.3	Desafios e soluções em ambientes marítimos.....	26
4	VEÍCULOS SUBMARINOS NÃO TRIPULADOS NA GUERRA ANTISSUBMARINO.....	27
4.1	Benefícios e Vantagens dos Veículos Submarinos Não Tripulados na Guerra Antissubmarino.....	28
4.2	Desafios e Limitações dos UUV na Guerra Antissubmarino.....	29
5	INTEGRAÇÃO DOS UUV AO CONCEITO DE GUERRA CENTRADA EM REDES.....	30
5.1	Potencialidades de uma Rede Integrada Submarina.....	30
5.2	Implicações para a Estratégia e Táticas Antissubmarinas.....	31
6	ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO NA MARINHA DO BRASIL.....	33
6.1	Contexto Atual da Marinha do Brasil.....	33
6.2	Viabilidade Técnica e Operacional.....	34
6.3	Desafios e Oportunidades para a Implementação.....	35
7	CONCLUSÃO.....	37
7.1	Principais Resultados Obtidos com a Pesquisa.....	37
7.2	Implicações para a Defesa Naval Contemporânea.....	37
7.3	Recomendações para Futuras Pesquisas.....	37
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia tem permitido transformações significativas na forma como as operações militares são conduzidas. Em especial, o mar, um ambiente historicamente desafiador para a guerra, tem sido palco de inovações que prometem redefinir as estratégias navais. Dentro desse contexto, os veículos submarinos não tripulados (UUV, sigla em inglês para *Unmanned Underwater Vehicle*) emergem como ferramentas promissoras, potencializados pela abordagem da Guerra Centrada em Redes (GCR). Este trabalho busca compreender e analisar o emprego desses veículos na guerra antissubmarino, tendo como foco a aplicabilidade da GCR e suas possíveis implementações na Marinha do Brasil (MB).

1.1 Justificativa da pesquisa

A crescente presença de ameaças submarinas, especialmente em regiões estratégicas, torna imperativo o desenvolvimento de táticas e tecnologias para combater e deter tais ameaças. Além disso, considerando-se que o atual cenário geopolítico global exige das nações uma contínua atualização de suas capacidades de defesa e dissuasão então, a MB, responsável por proteger uma vasta extensão marítima, enfrenta o desafio de se modernizar frente a essas novas ameaças e tecnologias disruptivas. Assim, a investigação sobre o uso de UUVs à luz da GCR torna-se não apenas relevante, mas essencial, para posicionar estrategicamente o Brasil no cenário naval contemporâneo.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta pesquisa é analisar o potencial do emprego de veículos submarinos não tripulados na guerra antissubmarino, considerando sua integração ao conceito de Guerra Centrada em Redes e ponderando sobre sua viabilidade para a MB. Em paralelo, a pesquisa se propõe a compreender a evolução e capacidades dos UUVs no contexto da guerra antissubmarino. Adicionalmente, busca-se investigar os fundamentos e implicações da Guerra Centrada em Redes, identificar os sistemas de comunicação essenciais para implementar a GCR em operações submarinas e avaliar os desafios e oportunidades que essa abordagem poderia apresentar para sua implementação na MB.

1.3 Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida utilizando uma metodologia de revisão bibliográfica e para isso foram consultadas publicações acadêmicas, estudos de instituições militares,

artigos de especialistas e materiais oficiais relacionados ao tema, buscando compreender as tendências, desafios e oportunidades associados ao emprego de UUVs e à Guerra Centrada em Redes. A seleção dos materiais foi baseada em sua relevância, atualidade e contribuição para os objetivos propostos nesta pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

À medida que se aprofunda nas águas do século XXI, a interseção da tecnologia com a estratégia naval oferece novas perspectivas e desafios e a guerra antissubmarino, uma das facetas mais complexas e sigilosas da estratégia naval, não está imune a estas transformações.

Nesta seção, serão abordados os conceitos fundamentais que definem o atual panorama dos veículos submarinos não tripulados e da Guerra Centrada em Redes. Através de uma revisão metódica da literatura, objetiva lançar luz sobre as nuances, evoluções e desafios desta área, fornecendo um sólido alicerce teórico para as análises subsequentes.

2.1 Veículos Submarinos Não Tripulados na Guerra Antissubmarino

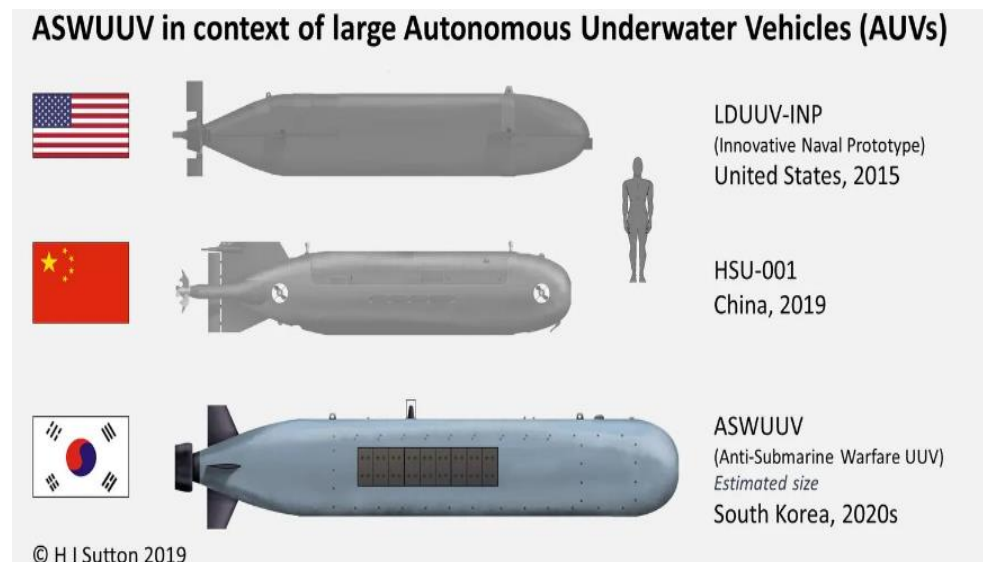
A guerra antissubmarino é um dos domínios mais desafiadores da estratégia naval. Desde os tempos das primeiras tentativas de submersão em águas hostis, como os "submersíveis" empregados em tempos antigos, até os sofisticados submarinos nucleares de hoje, a capacidade de operar debaixo d'água proporcionou uma vantagem tática significativa. No entanto, com a evolução tecnológica, surge a possibilidade de levar a guerra antissubmarino a um novo patamar, com a introdução dos veículos submarinos não tripulados.

Os UUVs representam uma categoria de sistemas autônomos ou semi-autônomos projetados para operar sob a superfície do mar. Diferentemente dos submarinos tradicionais, os UUVs não necessitam de tripulantes a bordo e isso os torna particularmente valiosos para missões que podem ser arriscadas ou de longa duração. Alguns dos papéis potenciais para UUVs na guerra antissubmarino incluem, de acordo com Clark et al (2020):

- a) Reconhecimento e Vigilância – equipados com sensores acústicos, os UUVs podem patrulhar silenciosamente áreas de interesse, coletando dados sobre atividades submarinas inimigas;

- b) Neutralização de Ameaças – alguns UUVs podem ser equipados com torpedos ou outros sistemas de armas, permitindo-lhes atuar como plataformas de ataque contra submarinos hostis;
- c) Instalação de Sensores – UUVs podem ser usados para depositar redes de sensores no leito oceânico, proporcionando uma capacidade persistente de monitoramento de áreas estratégicas; e
- d) Despistamento – ao simular a assinatura acústica de submarinos maiores, os UUVs podem agir como iscas (*decoys*), desviando e enganando forças inimigas.

Figura 1: Modelos de UUV de grande porte em operação, onde destaca-se a diferença de tamanho se comparados aos UUV de pesquisa científica e e os ROVs.



Fonte - Forbes¹

As vantagens dos UUVs são muitas, incluindo a capacidade de operarem em ambientes hostis sem colocar vidas humanas em risco, a flexibilidade de missão, e o potencial para custos operacionais reduzidos em comparação com submarinos tripulados. No entanto, os desafios não são triviais, uma vez que a autonomia, a comunicação submarina e a integração com sistemas de Comando e Controle (C2) são questões que ainda necessitam de pesquisa e desenvolvimento contínuos (CLARK et al, 2020).

À medida que os UUVs continuam a evoluir, eles prometem transformar a paisagem da guerra antissubmarino, proporcionando novas capacidades e redefinindo táticas e estratégias tradicionais.

¹ Forbes. New Submarine Killing Autonomous Underwater Drone. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/hisutton/2019/10/27/worlds-first-submarine-killing-autonomous-underwater-robot/?sh=1cceff351aea>>. Acesso em 12 set. 2023.

2.1.1 Evolução histórica dos UUV

A história dos veículos submarinos não tripulados é marcada por inovações e adaptações constantes, refletindo a busca contínua por superioridade no ambiente subaquático. Para entender verdadeiramente o potencial e as capacidades dos UUVs modernos, é crucial explorar suas raízes históricas e a trajetória evolutiva que moldou seu desenvolvimento.

2.1.1.1 Origens e Primeiras Implementações

As primeiras tentativas de criar veículos subaquáticos sem tripulação remontam ao século XIX, quando os mesmos eram, em sua maioria, torpedos autopropelidos, desenhados para atingir navios inimigos sem a necessidade de um submarino ou navio lançador. Estes dispositivos, porém, tinham controle limitado e eram predominantemente usados para ataques de curta distância (ARAS et al, 2009).

2.1.1.2 Desenvolvimentos no Século XX

Durante as duas Guerras Mundiais, tornou-se evidente a necessidade de dispositivos subaquáticos mais avançados e nesse contexto, a miniaturização da eletrônica e os avanços nas tecnologias de propulsão abriram caminho para veículos subaquáticos mais sofisticados. Segundo Allard e Shazbazian (2014), com a tensão entre as superpotências hegemônicas, durante a Guerra Fria, e a necessidade de operações de reconhecimento subaquático, os UUVs começaram a ganhar mais atenção como ferramentas de inteligência e vigilância.

2.1.1.3 A Era Moderna

Os UUVs experimentaram uma verdadeira revolução com o advento, nas últimas décadas, da tecnologia digital e dos sistemas de comunicação avançados. Hoje, eles são equipados com uma gama de sensores, sistemas de navegação e capacidades de comunicação que permitem operações complexas, desde o mapeamento do leito oceânico até a detecção e rastreamento de submarinos inimigos (CLARK et al, 2020).

Os UUVs modernos também se beneficiaram da interdisciplinaridade da ciência e da engenharia, incorporando avanços em áreas como inteligência artificial, robótica, hidrodinâmica e nanotecnologia.

2.1.2 Tipologias e Capacidades dos UUV

A diversidade dos UUVs reflete a vasta gama de necessidades e desafios que surgem no ambiente marinho subaquático. A seguir, suas tipologias são delineadas, enfatizando as especificações técnicas e as capacidades associadas, de acordo com o trabalho de Griffiths (2003).

2.1.2.1 Veículos Submarinos Autônomos (AUV, sigla em inglês para *Autonomous Underwater Vehicle*)

I. Características Principais:

- a) Sistemas de Propulsão - a maioria utiliza sistemas elétricos, com hélices ou hidrojetos;
- b) Sensores - sonares de abertura sintética, magnetômetros, e câmeras ópticas/infravermelhas;
- c) Navegação - sistemas inerciais e acústicos. Quando próximo à superfície, pode usar GPS.

II. Capacidades:

- a) Operam em profundidades variando de poucos metros até 6.000m ou mais;
- b) Autonomia de horas a dias, dependendo da capacidade da bateria e da missão;
- c) Coleta de dados científicos e de inteligência, reconhecimento de área, e detecção de minas.

2.1.2.2 Veículos de Operação Remota (ROVs)

I. Características Principais:

- a) Sistemas de Propulsão - motores elétricos com hélices multidirecionais;
- b) Manipuladores - braços robóticos para operações de agarramento, corte e intervenção;
- c) Sensores - câmeras de alta resolução, sonares e sensores de toque.

II. Capacidades:

- a) Operações em profundidades que variam de 100m a mais de 10.000m;
- b) Realização de inspeções estruturais, manutenções, e instalação de equipamentos;
- c) Pesquisas científicas e coleta de amostras.

2.1.2.3 Veículos Híbridos

- I. Características Principais:
 - a) Sistemas de Propulsão - combinação de motores elétricos com hélices e/ou hidro jatos;
 - b) Navegação - combinação de sistemas inerciais, acústicos e, ocasionalmente, GPS quando próximo à superfície.
 - c) Comunicação - capacidades tanto autônomas quanto remotamente operadas.

- II. Capacidades:
 - a) Combinação de operações autônomas e controle remoto;
 - b) Adaptação entre missões de pesquisa e manutenção;
 - c) Capacidade de operar em ambientes dinâmicos e profundidades variadas.

Com base nas informações expostas anteriormente, podemos observar que a categoria de UUV que mais se encaixa para o emprego militar é o AUV, diferentemente dos demais que são utilizados majoritariamente para fins científicos ou de apoio à indústria *offshore*. Sendo assim, para o restante da pesquisa o tipo de UUV a ser estudado será o AUV.

2.2 A Guerra Antissubmarino: conceitos e desafios

A guerra antissubmarino (ASW, do inglês *Anti-Submarine Warfare*) é uma vertente da guerra naval que envolve a identificação, rastreamento e neutralização de submarinos inimigos. Historicamente, a ASW tem sido uma das formas mais desafiadoras de combate naval devido à natureza oculta e imprevisível dos submarinos (BREEMER, 1988). A evolução tecnológica, ao longo dos anos, modificou as táticas e estratégias utilizadas, trazendo tanto novas ferramentas para detectar submarinos quanto novos desafios decorrentes das capacidades melhoradas dos submarinos modernos.

2.2.1 Táticas tradicionais

A complexidade da guerra antissubmarino (ASW) é evidenciada pela contínua evolução de táticas e tecnologias desde as primeiras aparições de submarinos em cenários de conflito. Um dos pilares dessa evolução foi o advento dos sonares de casco, montados diretamente nos navios de superfície (BREEMER, 1988). Esses dispositivos, atuando na modalidade passiva, usavam a técnica de escutar os sons do oceano, identificando ruídos

característicos de submarinos, como os das hélices ou sistemas de propulsão. No modo ativo, emitiam pulsos sonoros que, ao se chocarem com um objeto e retornarem como ecos, eram analisados para determinar a presença e localização do submarino, considerando fatores como a frequência do som emitido e a velocidade de retorno do eco.

Paralelamente à eficácia dos sonares de casco, as sono boias surgiram para expandir o raio de detecção usando aeronaves. Lançadas ao mar, essas boias podiam tanto detectar sons subaquáticos de forma passiva quanto emitir seus próprios pulsos sonoros, semelhantes ao funcionamento dos sonares ativos. O diferencial das sono boias era sua capacidade de transmitir dados em tempo real para a aeronave lançadora através de comunicação VHF, o que se tornou fundamental em operações de rastreamento e perseguição. Sendo assim, a força naval conseguiria cobrir uma área de interesse mais extensa por longos períodos, o que se traduzia em uma considerável vantagem tática na Guerra AS (REYNO, 2016).

A necessidade de neutralizar submarinos hostis levou ao desenvolvimento das armas submarinas, carregadas com poderosas cabeças de combate e dotadas de sensores ou espoletas específicas para o engajamento de alvos submersos. As principais armas utilizadas são o torpedo e a carga de profundidade, que podem ser lançadas tanto de navios de superfície quanto aeronaves e submarinos.

2.2.2 Transformações com a introdução de tecnologias disruptivas

As transformações na guerra antissubmarino, com a introdução de tecnologias disruptivas são emblemáticas tendo-se em vista a rapidez com que a modernidade redefine o teatro de operações marítimas (CLARK, 2019). Enquanto as táticas tradicionais forneciam um quadro robusto e comprovado para a ASW, as inovações tecnológicas do século XXI introduziram ferramentas e abordagens revolucionárias que mudaram a dinâmica desse campo de batalha submerso.

A vanguarda dessas transformações foi a proliferação de veículos submarinos não tripulados (UUVs). Esses dispositivos autônomos ou remotamente operados ampliaram drasticamente a capacidade de detecção, rastreamento e neutralização. Ao contrário das sonobóias, que têm uma presença temporária e limitada na água, os UUVs podem permanecer submersos por períodos prolongados, coletando dados e realizando missões de reconhecimento em profundidades que antes eram inacessíveis (CLARK, 2019). Com

sistemas de propulsão silenciosos e uma assinatura acústica mínima, esses veículos também se tornam menos detectáveis por submarinos inimigos, garantindo uma vantagem tática.

Outra inovação disruptiva foi a adoção da guerra centrada em redes (GCR). Esta abordagem integra várias plataformas - navios, aeronaves, satélites e UUVs - em uma rede coesa, permitindo comunicação em tempo real e o compartilhamento de informações. Isso facilita a tomada de decisão rápida e bem embasada, transformando operações isoladas em esforços coordenados e multidimensionais. Além disso, com o desenvolvimento de avançados sistemas de Inteligência Artificial, os dados coletados poderão ser analisados em velocidades vertiginosas, possibilitando respostas rápidas a ameaças emergentes.

A miniaturização da eletrônica também desempenhou um papel vital, já que sensores mais compactos e potentes, combinados com sistemas de propulsão eficientes, permitiram a criação de UUVs menores e mais versáteis, capazes de operar em ambientes anteriormente proibitivos, como áreas com muitos obstáculos ou regiões de águas rasas.

Conforme podemos observar, as tecnologias disruptivas estão remodelando a guerra antissubmarino, tornando-a mais dinâmica e complexa (REYNO, 2016). E, à medida que essas inovações continuam a evoluir, é provável que a ASW permaneça em constante metamorfose, adaptando-se aos desafios vindouros.

2.3 Guerra Centrada em Redes (GCR)

A Guerra Centrada em Redes é um conceito revolucionário que visa integrar todos os elementos de um teatro de operações em uma rede interconectada. Segundo Kopp (2016), esse paradigma utiliza a conectividade, a rapidez das comunicações e a capacidade de compartilhamento de informações em tempo real para proporcionar uma consciência situacional ampliada e uma resposta coordenada a ameaças e oportunidades. A seção a seguir explora a origem, os princípios fundamentais e a aplicabilidade da GCR na moderna guerra naval. A Figura 2 ilustra a arquitetura GCR aplicado no ambiente marítimo.

Figura 2: O conceito de GCR naval



Fonte: Naval Post, 2021²

2.3.1 Origem e Evolução da Guerra Centrada em Redes (GCR)

A evolução da Guerra Centrada em Redes (GCR) é uma resposta direta aos avanços tecnológicos nas áreas de informação, comunicação e sensoriamento. Esta seção se aprofundará na origem e desenvolvimento técnico deste conceito inovador que transformou o panorama das operações militares modernas.

2.3.1.1 Primeiras Concepções e Motivações

A ideia de integrar sistemas de comunicação e informação em operações militares não é nova. Entretanto, foi apenas na década de 1990 que o Departamento de Defesa dos Estados Unidos começou a desenvolver o conceito de "*network-centric warfare*" ou NCW (KOPP, 2016). A motivação era clara: maximizar a eficiência operacional aproveitando os avanços nas tecnologias de informação.

2.3.1.2 Desenvolvimentos Tecnológicos Chave

De acordo com a pesquisa de Kopp (2016), diversos avanços tecnológicos desempenharam um papel crucial no desenvolvimento da GCR:

² Disponível em: <<https://navalpost.com/what-is-network-centric-warfare/>>. Acesso em: 02 out. 2023.

- a) Tecnologias de Comunicação de Alta Velocidade - com o advento das redes de fibra óptica, entre estações de controle em terra, e protocolos avançados de comunicação, foi possível transmitir grandes volumes de dados com latências extremamente baixas;
- b) Satélites de Reconhecimento e Comunicação - a capacidade de posicionar satélites em órbita com sensores avançados e *transponders* de comunicação permitiu uma visão global e comunicação instantânea em qualquer ponto do globo;
- c) Tecnologias de Sensoriamento Remoto - sensores infravermelhos, radares de abertura sintética e outros dispositivos de sensoriamento permitiram a detecção, rastreamento e classificação de alvos em tempo real;
- d) Sistemas de Gerenciamento e Análise de Dados - a capacidade de processar, analisar e visualizar grandes volumes de dados em tempo real tornou-se essencial. *Softwares* avançados de gestão de batalha e sistemas de apoio à decisão foram desenvolvidos para facilitar essa necessidade.

2.3.1.3 Adoção e Refinamento

Com a implementação inicial da GCR, as Forças Armadas dos EUA realizaram uma série de exercícios e simulações para testar e refinar o conceito. Estes testes revelaram lacunas e áreas de melhoria, como a necessidade de redundância na comunicação, segurança avançada contra ameaças cibernéticas e integração aprimorada entre diferentes plataformas (ALBERTS et al, 2000).

Inicialmente focada em operações terrestres e aéreas, a GCR rapidamente encontrou aplicação no domínio marítimo. A vastidão dos oceanos e a complexidade do ambiente subaquático exigiam uma abordagem integrada e, assim, sistemas subaquáticos de comunicação, como redes acústicas moduladas, foram desenvolvidos para permitir a integração de submarinos e UUVs à rede centrada.

2.3.2 Princípios Fundamentais da Guerra Centrada em Redes (GCR)

A Guerra Centrada em Redes é, fundamentalmente, uma resposta à crescente complexidade e volatilidade dos ambientes de conflito contemporâneos (AHVENAINEN, 2010). A transformação digital que permeia todos os setores da sociedade encontra na área militar uma aplicação crítica e no cerne da GCR, vários princípios técnicos fundamentais são essenciais para compreender a magnitude da revolução que ela representa.

Primeiramente, a consciência situacional ampliada, um dos pilares mais preponderantes da GCR, esta não se refere apenas a uma ampla coleta de dados, mas a uma integração sensorial abrangente que conecta uma vasta gama de sensores, desde radares avançados que operam em diferentes bandas do espectro eletromagnético, passando por sensores acústicos subaquáticos de alta sensibilidade, até plataformas de imagens térmicas e infravermelhas. A fusão destes dados, se processada por algoritmos avançados de aprendizado de máquina e inteligência artificial, poderá resultar em uma visão muito mais detalhada e precisa do campo de batalha.

Paralelamente, a aceleração do ciclo de decisão tornou-se primordial. Na GCR, não basta apenas coletar informações; é crucial agir rapidamente com base nelas. As redes de alta velocidade e baixa latência (em comunicações por RF) possibilitam a transmissão de grandes volumes de dados em milissegundos e neste contexto, os sistemas avançados de apoio à decisão, que integram simulações em tempo real, análises probabilísticas e recomendações baseadas em modelos preditivos, auxiliam os comandantes a tomar decisões informadas rapidamente, evitando a latência da análise humana.

A natureza interconectada da GCR, embora ofereça inúmeras vantagens, também apresenta vulnerabilidades, e neste caso a robustez da rede torna-se crucial. A redundância é empregada em todos os níveis, seja através de rotas alternativas de comunicação, seja por meio de diferentes métodos de transmissão. A segurança é outro elemento técnico inerente a esse princípio. Protocolos avançados de criptografia, juntamente com técnicas sofisticadas de defesa cibernética, são implementados para garantir a integridade e a confidencialidade dos dados transmitidos.

Finalmente, o conceito de *force multiplier* na GCR é significativo. Na era moderna, a sinergia entre diferentes plataformas e sistemas torna-se uma necessidade. Um UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), por exemplo, pode ser equipado com sensores que fornecem dados para um navio de superfície, que por sua vez pode guiar mísseis disparados de uma plataforma terrestre. Esta integração poderá ser aprimorada ainda mais com a introdução de sistemas autônomos e inteligência artificial, permitindo a coordenação entre diferentes unidades com mínima intervenção humana, otimizando assim a eficiência tática.

2.3.3 Implicações táticas e estratégicas da GCR

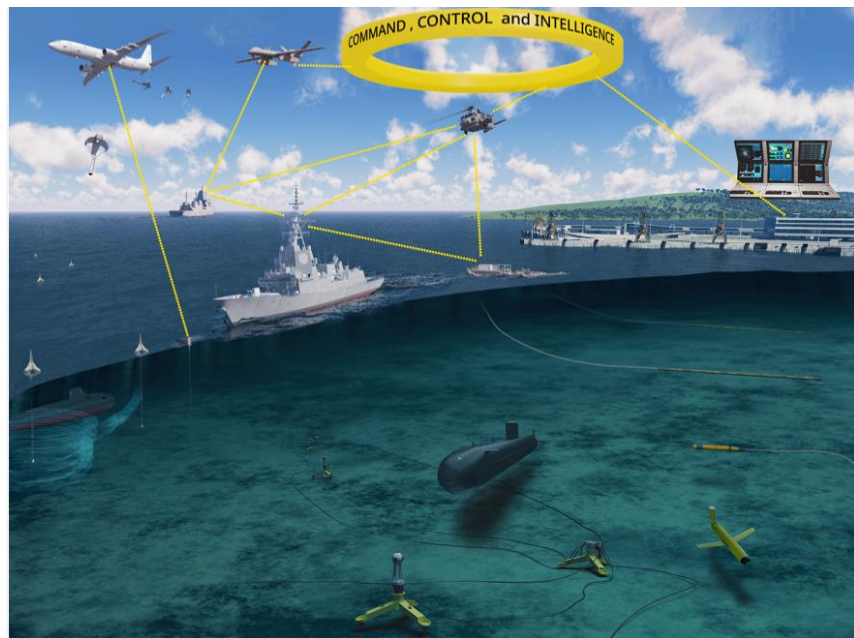
Com a evolução contínua da Guerra Centrada em Redes (GCR), as forças armadas ao redor do mundo estão enfrentando implicações tanto no nível tático quanto estratégico. A

transição para uma abordagem de combate mais interconectada e baseada em dados reconfigura não apenas a maneira como as operações são realizadas, mas também como elas são planejadas e conceituadas.

Taticamente, a GCR permite que as forças operacionais alcancem um nível de precisão, velocidade e eficácia sem precedentes. Por outro lado, a consciência situacional aprimorada, fornecida por uma rede vasta e integrada de sensores, transforma a tomada de decisão no campo de batalha. Em vez de depender de informações fragmentadas e potencialmente desatualizadas, as unidades têm acesso a um fluxo contínuo de dados em tempo real. Isto significa que as operações podem ser adaptadas dinamicamente em resposta a desenvolvimentos inesperados, permitindo uma agilidade tática que era previamente inalcançável (ALBERTS et al, 2000).

Essa agilidade tática, no entanto, vai além da simples resposta rápida. Com a ajuda de sistemas avançados de apoio à decisão, as forças podem prever e antecipar movimentos inimigos, transformando a reatividade em proatividade. A habilidade de, por exemplo, prever rotas de patrulha inimigas com base na análise de padrões históricos, ou identificar vulnerabilidades em tempo real, redefine a dinâmica do confronto.

Figura 3: Arquitetura de GCR aplicada em operação AS



Fonte – Ultra Group³

³ Ultra Group. The Future of Anti-Submarine Warfare. Disponível em: <<https://www.ultra.group/media/3514/ultra-the-future-of-asw-2022.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

Estrategicamente, a GCR tem implicações profundas. A capacidade de integrar diferentes plataformas e sistemas em uma rede unificada muda a maneira como as campanhas são planejadas e os recursos são alocados (KOPP, 2016). Não se trata mais de avaliar a eficácia de uma unidade ou plataforma em isolamento, mas de entender seu valor dentro do ecossistema mais amplo da rede.

Ademais, a GCR proporciona uma robustez estratégica renovada, a partir das redes redundantes e dos protocolos avançados de segurança que sminimizam as vulnerabilidades, garantindo que as forças possam operar mesmo em face de interferências inimigas ou falhas técnicas. A resiliência torna-se uma característica definidora da estratégia, assegurando que a continuidade operacional seja mantida.

Por fim, uma das implicações mais significativas reside na necessidade de capacitação e treinamento. A implementação bem-sucedida da GCR exige que tanto os tomadores de decisão quanto os operadores entendam profundamente as nuances da rede. Isso significa investir em programas de treinamento e simulações para familiarizar as forças com os novos sistemas e tecnologias.

3 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO PARA GCR

À medida que se avança para uma era onde a interconexão é essencial, a comunicação se destaca como o pilar central dessa transformação e no contexto da guerra moderna, a capacidade de transmitir e receber informações de maneira confiável e em tempo real é fundamental.

No entanto, o ambiente marítimo, com suas características únicas, apresenta desafios específicos que precisam ser superados para alcançar uma comunicação eficaz. Será analisada, a seguir, a importância intrínseca da comunicação dentro do paradigma da Guerra Centrada em Redes e as soluções técnicas disponíveis para enfrentar os desafios do ambiente subaquático.

3.1 Importância das Comunicações na GCR

No âmago da Guerra Centrada em Redes (GCR) está a capacidade de transmitir, receber e processar informações de maneira rápida e confiável. Este novo paradigma, que coloca a comunicação como elemento central, transformou fundamentalmente a maneira como as operações militares são conduzidas e planejadas.

A comunicação eficaz atua como o elemento constitutivo dessa abordagem centrada em redes, garantindo que cada elemento ou unidade esteja informado e possa responder de forma sinérgica às dinâmicas do campo de batalha. Sem uma transmissão de dados fluida e robusta, a promessa da GCR – de consciência situacional aprimorada, tomada de decisão acelerada e coordenação tática avançada – fica comprometida (KOPP, 2016).

Neste cenário, as comunicações não servem apenas como um meio de troca de mensagens, mas são também instrumentais para o funcionamento de algoritmos avançados e sistemas de apoio à decisão, que analisam os dados em tempo real e fornecem *insights* críticos para os comandantes e operadores. Assim, a comunicação eficaz se traduz em uma vantagem tática e estratégica, permitindo que as forças atuem de forma proativa em vez de reativa.

Além disso, à medida que as operações se tornam mais distribuídas e as unidades operam em maior autonomia, a dependência de uma rede de comunicação confiável aumenta exponencialmente. A falta de comunicação apropriada pode resultar em unidades isoladas, incapacidade de adaptar-se a ameaças emergentes e, em última análise, falha na missão.

3.2 Tecnologias de Comunicação Submarina

O ambiente subaquático é um dos mais desafiadores para a comunicação, devido às características físicas inerentes da água, que alteram e, muitas vezes, limitam a propagação dos sinais. Conseqüentemente, a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas a este ambiente têm sido um foco contínuo para os militares e a indústria. A seguir, serão abordadas as principais tecnologias utilizadas para a comunicação submarina: acústica, óptica e radiofrequência.

3.2.1 Acústica

A comunicação acústica tem sido a escolha predominante para a transmissão de informações no ambiente subaquático e ela se baseia na propagação de ondas sonoras através da água. Diferentes frequências sonoras possuem propriedades de propagação distintas, com frequências mais baixas sendo capazes de viajar distâncias mais longas, mas a custo de taxas de transmissão mais baixas.

A comunicação acústica também enfrenta desafios como a refração causada por variações na temperatura e salinidade da água, e a atenuação, que reduz a intensidade da onda à medida que ela se propaga. Para contornar essas limitações, são empregadas técnicas

avançadas, como modulação adaptativa, codificação de erro e a utilização de arranjos de hidrofones e transdutores.

3.2.2 Óptica

Com o avanço da tecnologia, a comunicação óptica subaquática começou a ganhar destaque devido à sua capacidade de oferecer taxas de transmissão mais elevadas do que a acústica. Esta técnica utiliza a propagação da luz através da água para transmitir dados. Contudo, um grande desafio da comunicação óptica é a dispersão e absorção da luz pela água, o que limita seu alcance efetivo.

Para maximizar a eficiência da transmissão óptica, são utilizados lasers e LEDs especiais que operam em comprimentos de onda ótimos para a propagação subaquática. Além disso, técnicas de modulação avançada e detecção são empregadas para garantir a integridade do sinal em condições variáveis.

3.2.3 Radiofrequência

Embora a água salgada seja notoriamente ineficaz para a propagação de radiofrequência (RF), em certas situações, particularmente em águas rasas ou na superfície, é possível utilizar RF para comunicação. Tecnologias de RF de baixa frequência podem penetrar certas profundidades aquáticas, mas a eficácia diminui com a profundidade e a salinidade.

Para otimizar a comunicação RF em ambientes marítimos, são empregadas antenas especializadas, amplificadores de potência e modulações adaptativas, que permitem ajustar o sinal conforme as condições ambientais. Além da transmissão na faixa de VLF (*Very Low Frequency*).

3.3 Desafios e soluções em ambientes marítimos

O ambiente marítimo, notoriamente vasto e variável, é um dos cenários mais desafiadores para a comunicação. Sua salinidade, temperatura, correntes e abundante vida marinha apresentam parâmetros que podem dificultar no estabelecimento de redes de comunicação confiáveis e um dos primeiros desafios enfrentados é a atenuação. À medida que as ondas se propagam em ambientes aquáticos, sejam elas baseadas em fenômenos acústicos, ópticos ou de radiofrequência, enfrentam uma diminuição de sua intensidade, fenômeno exacerbado por fatores como a salinidade e partículas em suspensão. Para combater esse fenômeno, recorre-se frequentemente a métodos de amplificação de sinal e técnicas de

modulação adaptativa. Na comunicação óptica, por exemplo, lasers de alta potência podem ser empregados para estender o alcance efetivo do sinal.

Adicionalmente, em águas mais profundas e de fundos irregulares, a refração, causadas por variações na temperatura e reflexão das ondas, resultam no que é conhecido como multipercurso. Isso significa que múltiplas ondas podem chegar ao receptor em diferentes momentos, causando distorção. Técnicas avançadas de processamento de sinal, incluindo a equalização adaptativa, são uma resposta a este desafio, permitindo a identificação e compensação dos efeitos do multipercurso.

Por outro lado, nas proximidades de áreas altamente trafegadas, como portos, a interferência de sinais – devido ao elevado nível de ruído ambiente – pode se tornar um grande problema. Esta interferência é frequentemente agravada pela presença de vários equipamentos eletrônicos e sistemas de comunicação operando simultaneamente. Uma solução para esse desafio é o uso de faixas de frequência menos congestionadas e a aplicação de técnicas avançadas de codificação. Além disso, os protocolos modernos de acesso múltiplo são projetados especificamente para permitir que vários sinais coexistam harmoniosamente.

Outro ponto crítico é a latência em comunicações, especialmente quando envolve operações que exigem respostas rápidas, como aquelas que envolvem veículos autônomos. Para atenuar esse problema, redes de fibra ótica de alta velocidade e infraestruturas de processamento local, como o *edge computing*⁴, estão sendo amplamente adotadas. Por fim, com a crescente digitalização dos sistemas marítimos, a segurança das comunicações tornou-se de importância primordial. Ameaças de interceptações e ataques cibernéticos são reais e presentes, levando à necessidade de adotar criptografias robustas, protocolos de autenticação e sistemas de detecção de intrusões. Em essência, embora o ambiente marítimo apresente inúmeros desafios, as constantes inovações tecnológicas e abordagens adaptativas garantem uma comunicação resiliente e eficaz em diversos cenários marinhos.

4 VEÍCULOS SUBMARINOS NÃO TRIPULADOS NA GUERRA ANTISSUBMARINO

A ascensão dos UUVs marca uma evolução significativa no cenário da guerra antissubmarino. Eles surgem como uma resposta adaptativa às crescentes ameaças submarinas

⁴ *Edge computing* - é um novo paradigma de computação onde os dados da IoT são processados na periferia da rede (cloud edge), ou seja, na própria fonte onde são gerados ou o mais próximo possível da mesma.

e ao ritmo acelerado da inovação tecnológica. Seu uso visa otimizar as operações navais, melhorar as capacidades de detecção e resposta, e proporcionar uma abordagem mais ágil e focada às ameaças submarinas modernas.

4.1 Benefícios e Vantagens dos Veículos Submarinos Não Tripulados na Guerra Antissubmarino

A incorporação de veículos submarinos não tripulados na estratégia da guerra antissubmarino representa uma virada no jogo, evidenciando uma série de benefícios e vantagens que realçam seu potencial revolucionário.

Um dos benefícios mais tangíveis dos UUVs é a segurança operacional que proporcionam, já que por serem autônomos, eles removem a necessidade de tripulações humanas em missões perigosas e profundas, minimizando riscos e protegendo vidas. Esta autonomia também oferece uma operação mais eficiente e focada, permitindo que os UUVs permaneçam no mar por períodos prolongados sem a necessidade de interações humanas frequentes.

A versatilidade é outra característica marcante dos UUVs. Eles podem ser equipados com uma vasta gama de sensores e dispositivos, tornando-os adequados para uma variedade de missões, desde reconhecimento e coleta de dados até a neutralização direta de ameaças. Sua habilidade de operar silenciosamente também os torna excelentes para missões furtivas, nas quais a detecção de ameaças submarinas sem alertá-las é crucial. Como por exemplo, os AUV da PLA-N (*People's Liberation Army – Navy*) que operam furtivamente no Mar do Sul da China para coleta de dados de inteligência, como o exemplar capturado ilustrado na Figura 4.

Figura 4: AUV chinês capturado no Mar do Sul da China



Fonte: SUBSIM, 2021⁵

No contexto de áreas vastas e desafiadoras dos oceanos, a capacidade dos UUVs de acessar regiões profundas ou geograficamente complicadas oferece uma vantagem significativa, uma vez que eles podem penetrar zonas que seriam arriscadas ou inacessíveis para submarinos tripulados, ampliando consideravelmente o raio de ação e capacidade de reconhecimento.

Outro aspecto a ser destacado é a eficiência econômica dos UUVs. Embora o investimento inicial em tecnologia e desenvolvimento possa ser considerável, a longo prazo, a operação de UUVs pode ser mais econômica do que a manutenção e operação de frotas de submarinos tripulados, especialmente quando se considera a redução de custos associados a treinamento e suporte de tripulações.

4.2 Desafios e Limitações dos UUV na Guerra Antissubmarino

Embora os veículos submarinos não tripulados representem uma evolução notável na guerra antissubmarino, não estão isentos de desafios e limitações inerentes à sua natureza e à tecnologia que os sustenta.

Um dos principais obstáculos enfrentados pelos UUVs é a questão da comunicação e o controle em profundidades oceânicas significativas. A transmissão de

⁵ Disponível em: <<https://www.subsim.com/chinese-drone-submarine-auv-uuv-caught-by-indonesian-fisherman/>>. Acesso em: 02 out. 2023.

informações através da água é desafiadora, especialmente em ambientes mais profundos, onde as tecnologias tradicionais de comunicação, como a radiofrequência, são praticamente ineficazes. Isso pode resultar em lacunas de comunicação ou na perda de controle sobre o veículo, especialmente quando operando a grandes distâncias da plataforma controladora.

Além disso, a autonomia energética dos UUVs ainda é uma questão técnica a ser superada. A capacidade das baterias atuais pode restringir a duração das missões e a amplitude operacional dos UUVs, exigindo soluções inovadoras para prolongar sua autonomia sem comprometer seu tamanho ou capacidade de manobra.

A detecção de UUVs por adversários também é um desafio. Enquanto sua operação furtiva é uma vantagem, garantir que permaneçam indetectáveis para os sistemas de sonar avançados e outras tecnologias de detecção é essencial para sua eficácia operacional. A saturação das áreas marítimas com múltiplos UUVs - seja de forças aliadas ou adversárias - também pode levar a interferências e possíveis colisões, exigindo sistemas de coordenação e de-escalamento eficazes.

Do ponto de vista de manutenção e durabilidade, os UUVs, ao operarem em ambientes marítimos potencialmente corrosivos e sob pressões extremas, estão sujeitos a desgastes e danos. Desenvolver estruturas robustas e sistemas de autodiagnóstico e autorreparo é crucial para garantir sua longevidade e confiabilidade.

Além disso, o aspecto regulamentar e legal associado ao uso de UUVs em águas internacionais ou zonas de disputa territorial é um desafio que não pode ser negligenciado. A implementação desses veículos em operações reais deve ser acompanhada de considerações sobre soberania, direitos marítimos e possíveis implicações diplomáticas.

5 INTEGRAÇÃO DOS UUVs AO CONCEITO DE GUERRA CENTRADA EM REDES

A Guerra Centrada em Redes representa uma revolução no modo como as operações militares são conduzidas, enfatizando a integração e a colaboração entre múltiplos ativos para criar uma força coletiva mais eficaz. No contexto da guerra antissubmarino, a integração dos veículos submarinos não tripulados a essa abordagem pode potencializar de maneira significativa as capacidades defensivas e ofensivas.

5.1 Potencialidades de uma Rede Integrada Submarina

Ao se contemplar o futuro da guerra antissubmarino à luz da Guerra Centrada em Redes (GCR), os veículos submarinos não tripulados surgem como componentes chave para uma eficaz rede integrada submarina. A capacidade de incorporar múltiplos UUVs em uma matriz coesa de monitoramento e resposta apresenta possibilidades que ampliam dramaticamente o espectro de operações navais.

A primeira grande potencialidade é a cobertura ampliada, já que havendo UUVs distribuídos estrategicamente, as forças navais podem manter vigilância contínua em vastas extensões oceânicas. Ao contrário das plataformas tripuladas, que têm limitações logísticas e humanas, os UUVs podem operar de forma autônoma por períodos prolongados, garantindo uma presença persistente e uma capacidade de detecção ininterrupta.

Complementando essa vasta cobertura, há o elemento da densidade de dados. Em uma rede integrada, cada UUV serve como um ponto de coleta, transmitindo informações em tempo real. Isso permite uma compreensão multidimensional do ambiente submarino, onde as ameaças podem ser identificadas e rastreadas com uma precisão sem precedentes.

Além disso, os UUVs, quando operando de maneira integrada, podem executar tarefas colaborativas. Por exemplo, um UUV que detecta uma ameaça pode comunicar-se com outros na rede para cercar, rastrear ou até mesmo neutralizar uma ameaça, aproveitando a capacidade de múltiplos veículos para realizar tarefas complexas.

A integração dos UUVs à GCR também potencializa o uso de algoritmos avançados e sistemas de inteligência artificial. Isso permite não apenas uma rápida análise de dados, mas também a previsão e antecipação de movimentos hostis, facilitando uma reação proativa às ameaças. A automação pode ser usada para otimizar rotas, tarefas e reações dos UUVs com base nas informações recebidas, tornando a rede mais eficiente.

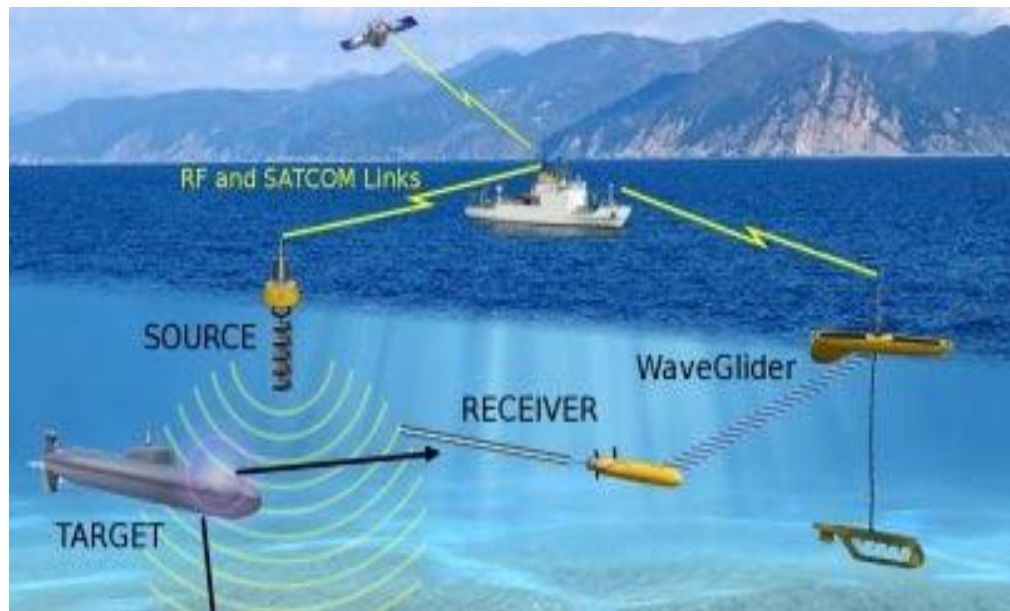
Por fim, a rede integrada proporciona redundância. Em situações onde um UUV é comprometido ou apresenta falhas, outros podem rapidamente preencher a lacuna, garantindo que a integridade e funcionalidade da rede sejam mantidas. Ao se considerar as potencialidades oferecidas por uma rede integrada de UUVs no contexto da GCR, vislumbra-se uma capacidade significativamente ampliada de monitoramento, detecção e resposta em cenários antissubmarinos, solidificando a posição de supremacia em ambientes marítimos.

5.2 Implicações para a Estratégia e Táticas Antissubmarinas

A integração dos veículos submarinos não tripulados no contexto da Guerra Centrada em Redes não apenas potencializa as capacidades operacionais, mas também provoca uma reavaliação profunda das estratégias e táticas antissubmarinas tradicionalmente empregadas.

Primeiramente, esta integração permite uma abordagem mais proativa na guerra antissubmarina. Em vez de esperar por sinais ou indícios de atividades inimigas, a rede de UUVs pode ser empregada para patrulhar ativamente áreas de interesse, detectando e rastreando ameaças potenciais em seus estágios iniciais e a capacidade de detectar e responder rapidamente a ameaças emergentes aumenta a janela de oportunidade para ações táticas e estratégicas.

Figura 5: AUV aplicado em ação AS



Fonte: OTAN, 2013⁶

Além disso, a flexibilidade inerente à operação de uma rede de UUVs integrada modifica a dinâmica da tomada de decisões. Em situações em que uma ameaça é identificada, a rede pode ser reconfigurada rapidamente, permitindo uma resposta adaptativa. Isso significa que as táticas não são apenas reativas, mas também adaptáveis às circunstâncias em constante mudança.

⁶ Disponível em: <<https://www.cmre.nato.int/news-room/blog-news-archive/42-rokstories/221-cmre-demonstrates-real-time-auv-based-multistatic-asw-during-exercise-proud-manta>>. Acesso em: 02 out. 2022.

A presença constante e a ampla cobertura oferecida pelos AUVs também têm implicações para a dissuasão. Submarinos inimigos podem ser mais relutantes em operar em áreas onde a presença de AUVs integrados à GCR é conhecida, dada a alta probabilidade de detecção e a consequente vulnerabilidade a medidas de ataque AS.

A incorporação de tecnologias avançadas e sistemas de inteligência artificial na rede também afeta a estratégia. Estes sistemas podem proporcionar uma análise em tempo real de dados complexos, facilitando a identificação de padrões de comportamento inimigo e possibilitando a previsão de suas ações futuras. Esta capacidade preditiva pode ser usada para montar emboscadas, desviar o inimigo ou mesmo evitá-lo por completo.

No entanto, é crucial reconhecer que, enquanto os UUVs e a GCR oferecem vantagens significativas, eles não substituem completamente os métodos e táticas AS tradicionais. Em vez disso, eles complementam e amplificam essas capacidades. Por exemplo, enquanto um UUV pode detectar e rastrear um submarino inimigo, a neutralização da ameaça ainda pode exigir a intervenção de ativos tripulados, como navios de guerra ou aeronaves AS.

6 ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO NA MARINHA DO BRASIL

A inserção da Guerra Centrada em Redes e dos veículos submarinos não tripulados no planejamento estratégico militar de uma nação simboliza um avanço considerável em termos de capacidade de resposta e operacionalidade. No contexto brasileiro, dado seu extenso litoral e relevância estratégica no Atlântico Sul, essa integração pode fortalecer significativamente a defesa de suas águas territoriais e a projeção de seu poder naval. Este segmento examinará o panorama atual da Marinha do Brasil, a plausibilidade de integração destas inovações, os desafios neste processo e sugestões para a implementação concreta.

6.1 Contexto Atual da Marinha do Brasil

A Marinha do Brasil tem empreendido esforços contínuos de modernização, seja adquirindo novas embarcações ou atualizando sua doutrina operacional. Entretanto, ela enfrenta os desafios inerentes a muitas forças armadas de países em desenvolvimento, como orçamentos restritivos, necessidade de atualização de equipamentos e a qualificação contínua de seu pessoal. O Programa de Desenvolvimento de Submarinos, que ambiciona a construção de submarinos convencionais e o pioneiro submarino de propulsão nuclear brasileiro, ilustra o peso que a capacidade submarina possui na estratégia naval brasileira.

Figura 6: Lançamento ao mar do Submarino Humaitá



Fonte: Brasil, 2020⁷

6.2 Viabilidade Técnica e Operacional

A integração dos UUVs e do conceito de Guerra Centrada em Redes na Marinha do Brasil envolve uma minuciosa análise de viabilidade técnica e operacional. Inicialmente, é preciso destacar que o Brasil, ao longo das últimas décadas, tem investido significativamente em modernização e desenvolvimento de suas capacidades navais, como evidenciado pelo Programa de Desenvolvimento de Submarinos e pelas recentes aquisições de equipamentos e embarcações.

Tecnicamente, a capacidade de adoção e integração dos UUVs e da GCR se mostra promissora. O país já detém uma expertise significativa em sistemas não tripulados em outras vertentes das Forças Armadas, como Aeronaves Remotamente Pilotadas, porém o ambiente submarino apresenta seus próprios desafios técnicos. Equipamentos de sensoriamento, propulsão, navegação, e especialmente sistemas de comunicação submarina são cruciais para o sucesso dos UUVs e a interação desses veículos com sistemas existentes, como os submarinos da Classe Riachuelo e as Fragatas Classe Tamandaré, exigiria não só

⁷ Disponível em: <<https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2020/12/marinha-lanca-ao-mar-segundo-submarino-construido-por-meio-do-prosub>>. Acesso em: 02 out. 2023.

compatibilidade técnica, mas também sistemas de comunicação robustos e resilientes, que permitam a operação integrada desses ativos.

Do ponto de vista operacional, os extensos territórios marítimos sob jurisdição brasileira seriam extremamente beneficiados pela cobertura e capacidade que uma rede integrada de UUVs e outros ativos navais (navios escolta, por exemplo) poderiam proporcionar, como a consciência situacional em uma Área de Operações extensa. No entanto, essa ampliação de cobertura demandaria uma complexa logística, desde o planejamento de missões e a manutenção dos equipamentos, até a análise e disseminação de dados coletados.

Um dos grandes propulsores dessa viabilidade é a possibilidade de parcerias estratégicas dentro do Ministério da Defesa, colaborando estreitamente com a Base Industrial de Defesa (BID). A produção nacional de sistemas de comunicação e enlaces de dados, considerando seu caráter sensível e estratégico, garantiria uma independência crítica neste setor vital. Além disso, ao considerar os ativos aeronavais da Marinha, como os helicópteros Seahawk, e da Força Aérea, como o P-3AM Orion, a interoperabilidade e a integração de dados tornam-se fatores determinantes para uma efetiva arquitetura de GCR.

6.3 Desafios e Oportunidades para a Implementação

Ao abordar a implementação de UUVs e o conceito de Guerra Centrada em Redes na Marinha do Brasil, é fundamental destacar os desafios e as oportunidades que se apresentam nesse caminho.

Entre os principais desafios, encontram-se a integração desses sistemas em ambientes operacionais diversificados, o que demanda capacitação e treinamento contínuo do pessoal naval. A resistência cultural é outro obstáculo, uma vez que, em ambientes militares, o tradicionalismo e as práticas estabelecidas podem ser relutantes a mudanças profundas. Adicionalmente, o aspecto financeiro não pode ser ignorado. Embora os benefícios a longo prazo sejam significativos, os investimentos iniciais em tecnologias avançadas, manutenção, atualizações e treinamentos requerem uma considerável alocação de recursos.

Considerando o aspecto financeiro, o investimento em tecnologias avançadas, embora promissor a longo prazo, demanda a alocação significativa de recursos no curto prazo, o que pode impactar as forças navais que enfrentam restrições orçamentárias. A estrutura de custos envolve não apenas a aquisição de novos equipamentos, mas também a manutenção, a atualização e o treinamento associado.

Contudo, juntamente com os desafios, surgem oportunidades valiosas. O Brasil, com sua extensa costa e vastos recursos marítimos, tem muito a ganhar com a ampliação de sua capacidade de monitoramento e defesa marítima. A implementação de UUVs permitiria uma patrulha mais eficiente e abrangente, enquanto a GCR facilitaria a rápida disseminação e interpretação de informações, otimizando a tomada de decisão.

A capacidade de produção autóctone, aliada a parcerias estratégicas, tanto no âmbito do Ministério da Defesa quanto com a BID, colocaria o Brasil em uma posição privilegiada para desenvolver e adaptar essas tecnologias de acordo com suas necessidades específicas. Tal independência tecnológica não só reforçaria a soberania nacional, mas também posicionaria o Brasil como líder na região em termos de inovação e poderio bélico naval.

A interação e sinergia entre meios modernos, como as Fragatas Classe Tamandaré, os submarinos da Classe Riachuelo, os helicópteros Seahawk e a aeronave P-3AM Orion da Força Aérea Brasileira, tornariam a Marinha do Brasil uma das mais avançadas e integradas da região. Esta transformação não só fortaleceria a postura defensiva do país, mas também reforçaria sua posição geopolítica no cenário internacional.

Em síntese, enquanto os desafios são consideráveis, as oportunidades que emergem com a adoção dessas tecnologias são inegáveis. Cabe à Marinha do Brasil, em conjunto com os *stakeholders* relevantes, como as empresas da BID nacional, avaliar cuidadosamente ambos os aspectos para trilhar um caminho que maximize os benefícios para a defesa e a soberania nacional.

7 CONCLUSÃO

A pesquisa em questão abordou aspectos fundamentais da guerra moderna, abordando a integração entre a Guerra Centrada em Redes e os Veículos Submarinos Não Tripulados em um contexto de guerra antissubmarino, especialmente à luz das necessidades e desafios da Marinha do Brasil.

7.1 Principais Resultados Obtidos com a Pesquisa

Ao longo deste estudo, identificou-se o potencial transformador dos UUVs no ambiente submarino, principalmente quando integrados à dinâmica da GCR. Estes veículos, com suas capacidades diversificadas, oferecem oportunidades significativas em termos de coleta de informações, monitoramento e combate. Quando atrelados a uma rede integrada, os UUVs podem ampliar exponencialmente o alcance, precisão e tempo de resposta das forças navais.

Adicionalmente, ao focar na realidade brasileira, foi possível reconhecer tanto as potencialidades quanto os desafios inerentes à implementação dessa arquitetura tecnológica e operacional. A integração de ativos navais modernos e a necessidade de desenvolvimento autóctone de sistemas de comunicação emergiram como questões centrais.

7.2 Implicações para a Defesa Naval Contemporânea

A GCR, associada ao uso de UUVs, tem o potencial de redefinir as estratégias de defesa naval. Em um cenário global onde as ameaças submarinas estão em constante evolução, e a rapidez e precisão na tomada de decisões são cruciais, a integração de redes com veículos autônomos emerge como um imperativo. Para a Marinha do Brasil, essa evolução não apenas a colocaria na vanguarda da defesa naval contemporânea, mas também asseguraria uma defesa marítima robusta e resiliente frente aos desafios atuais e futuros.

7.3 Recomendações para Futuras Pesquisas

Este estudo, embora abrangente, marca apenas o início de um campo de pesquisa profundo e em constante evolução. Recomenda-se que futuros trabalhos se aprofundem em aspectos tecnológicos específicos dos UUVs, bem como nas nuances da comunicação submarina em ambientes desafiadores. Além disso, a análise de cenários de simulação envolvendo situações de conflito real pode fornecer *insights* valiosos sobre a operacionalidade da GCR com UUVs. A integração interforças, considerando não apenas a Marinha, mas

também o Exército e a Força Aérea Brasileira, é outra área promissora de pesquisa, com o objetivo de abordar uma defesa integrada e coesa do território brasileiro.

Em conclusão, o cenário de defesa naval global está no limiar de uma revolução, impulsionada pela tecnologia e pela necessidade de adaptabilidade. É imperativo que nações, como o Brasil, estejam na vanguarda desta transformação, garantindo segurança, autonomia e proeminência no cenário marítimo global.

REFERÊNCIAS

- AHVENAINEN, S. **Backgrounds and Principles of Network-Centric Warfare**. Disponível em: <<https://csl.armywarcollege.edu/SLET/mccd/CyberSpacePubs/NCW%20Background%20Principles.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2023.
- ALBERTS, D. et al. **Network Centric Warfare - developing and leveraging information superiority**. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA406255.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2023.
- ALLARD, Y. SHAZBAZIAN, E. **Unmanned Underwater Vehicle (UUV) Information Study**. Disponível em: <https://cradpdf.drdcrrdc.gc.ca/PDFS/unc199/p800838_A1b.pdf>. Acesso em 28 jun. 2023.
- ARAS, M. et al. **Design and Development of na Autonomous Underwater Vehicle**. Disponível em: <<https://files.core.ac.uk/pdf/13518/235651210.pdf>>. Acesso em 25 mai. 2023.
- BENEDICT, J. **Future underseawarfare perspectives**. Disponível em: <https://secwww.jhuapl.edu/techdigest/content/techdigest/pdf/V21-N02/21-02_Benedict.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- BREEMER, J. S. **Anti-Submarine Warfare: a strategy primer**. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA199554.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- CLARK, B. et al. **Sustaining the Undersea Advantage: Disrupting AntiSubmarine Warfare Using Autonomous Systems**. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/media.hudson.org/Clark%20Cropsey%20Walton_Sustaining%20the%20Undersea%20Advantage.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- CLARK, B. **The Emerging Era in Undersea Warfare**. Disponível em: <[https://csbaonline.org/uploads/documents/CSBA6292_\(Undersea_Warfare_Reprint\)_eb.pdf](https://csbaonline.org/uploads/documents/CSBA6292_(Undersea_Warfare_Reprint)_eb.pdf)>. Acesso em: 26 jul.2023.
- GRIFFITHS, G. **Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles**. Disponível em: <<https://ftp.idu.ac.id/wpcontent/uploads/ebook/tdg/MILITARY%20PLATFORM%20DESIGN/Autonomous%20Underwater%20Vehicles.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2023
- KOPP, C. **Network Centric Warfare Fundamentals**. Disponível em: <<https://www.ausairpower.net/SP/NCW-101-3.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2023.
- REYNO, W. C. **The Rebirth of Anti-Submarine Warfare**. Disponível em: <<https://www.cfc.forces.gc.ca/259/290/318/192/reyno.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2023.