

UM PANORAMA DO USO DE PESQUISA OPERACIONAL NO AMBIENTE DE GUERRA SUBMARINO

A panorama of the use of operational research in the submarine war environment

Leonardo Antonio Monteiro Pessoa¹,
Edilson Fernandes de Arruda², Laura Bahiense³

Resumo: Este artigo apresenta um panorama do uso de metodologias de pesquisa operacional aplicadas à guerra em ambiente submarino. Apresenta-se revisão bibliográfica referente à base Scopus, no tocante às técnicas mais utilizadas, apresentando os países de origem e agrupando os documentos para melhor entendimento. O trabalho contribui para conhecimento mais profundo sobre as maneiras nas quais as ferramentas de PO estão sendo utilizadas no domínio da guerra submarina apresentando as tendências e desenvolvimentos mais recentes, podendo servir como orientação para futuras pesquisas brasileira nesse tema.

Palavra-chave: Pesquisa operacional. Defesa. Militar. Guerra A/S.

Abstract: This paper presents a panorama of the applied use of Operations Research methodology on submarine warfare. A bibliographic review regarding the Scopus database is presented, exploring the most used techniques, clustering the documents and presenting the countries of origin for a better understanding. The paper provides a deeper knowledge about how OR has been used in this context, presenting the most recent developments and tendencies, and may guide future Brazilian research on this theme.

Keywords: Operations research. Defense. Military. ASW.

1. Doutor em Engenharia de Produção pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Gerente de Projetos no Centro de Análises de Sistemas Navais – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: lampessoa@terra.com.br

2. Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Professor Adjunto do Programa de Engenharia de Produção do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: efarruda@po.coppe.ufrj.br

3. Doutora em Engenharia de Sistemas e Computação pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professora Associada do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação e do Programa de Engenharia dos Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro. – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: laura@cos.ufrj.br

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho objetiva construir um panorama do uso de métodos de pesquisa operacional (PO) aplicados à guerra no ambiente submarino. Para tanto, apresenta-se pesquisa bibliográfica em que se utilizou a plataforma Scopus. A escolha dessa base bibliográfica é justificada por sua grande abrangência, assim como sua aceitação na comunidade científica brasileira.

Cabe ressaltar que se trata de pesquisa ainda preliminar, em que pese o número significativo de referências encontradas. Pretende-se, portanto, enriquecer a pesquisa por meio da consulta a outras bases bibliográficas conhecidas, como Web of Science, ScienceDirect etc.

Para complementar, pretende-se pesquisar documentos bibliográficos (artigos de periódicos, conferências etc.) indexados em bases bibliométricas com informações quanto ao país de origem. Quer-se ainda inferir o comportamento temporal das publicações relativas ao tema, os tipos de publicação mais frequentes, além dos aspectos metodológicos mais explorados.

Para caracterizar metodologicamente a estrutura deste artigo, a segunda seção apresenta breve fundamentação teórica, detalhando a abordagem empregada na realização do presente trabalho. A seção 3 apresenta os resultados, com foco nas referências identificadas. Por fim, a seção 4 traz breve discussão dos resultados e a conclusão.

2. METODOLOGIA

O interesse pelo ambiente de guerra antissubmarino está relacionado aos primórdios da PO organizada, especificamente aos desenvolvimentos do "circo" de Blackett (TREFETHEN, 1970).

Por outro lado, vemos que esse ambiente é significativo para o contexto brasileiro, ao observar a importância dada pela Estratégia Nacional de Defesa (BRASIL, 2012) ao ambiente

de guerra submarino. Há menção a referências nesse contexto (PESSÓA, 2016), principalmente teses e dissertações, mas que não estão na base considerada para o estudo. No entanto, considera-se a base Scopus como repositório relevante para a comunidade científica brasileira, pois inclui periódicos de grande pertinência, permitindo verificar os avanços metodológicos mais importantes e identificar tendências quanto a temporalidade, origem e áreas de conhecimento envolvidas, além de contribuir na identificação de possibilidades de aplicação e de lacunas metodológicas.

Para este objetivo, detalha-se a seguir a metodologia utilizada para o levantamento bibliográfico. Na fase inicial, o método utilizado para a condução da revisão bibliográfica consistiu nos seguintes passos:

- Pesquisa na base Scopus utilizando os termos "submarine" "warfare" e "Operations Research" ou "Operational Research";
- Apresentação dos resultados em relação a: temporalidade; origem; áreas de conhecimento;
- Mapeamento das palavras-chave mais relevantes utilizando o *software* VOSviewer;
- Mapeamento das palavras mais relevantes constantes do abstract utilizando o *software* VOSviewer;
- Classificação dos itens quanto ao domínio e à ferramenta de PO utilizada.

3. RESULTADOS

A Tabela 1 mostra a entrada utilizada para consulta, a qual resultou inicialmente 23 artigos.

A Figura 1 mostra o número de publicações levantadas de acordo com o ano, contemplando o período de 1984 a 2018. Observa-se irregularidade das publicações, com vários anos sem representação.

Todavia, nota-se que há propensão para o aumento de publicações a partir de 2016. Verifica-se, dessa data em diante, publicações feitas em todos os anos. Além disso, cabe

Tabela 1. Termos de pesquisa e artigos encontrados.

Base	Query	Found Docs
SCOPUS	TITLE-ABS-KEY (("submarine" AND "warfare") AND ("Operations Research" OR "Operational Research"))	23

observar que o maior número de publicações se dá no último ano, em 2018.

Esse dado sugere aumento de interesse pelo tema nos últimos anos e possível início de trajetória ascendente do número de publicações a respeito.

A Figura 2 coloca os artigos de acordo com a área de conhecimento. Nota-se predominância de artigos relacionados às áreas de engenharia e de ciência da decisão, os quais representam mais de 60% dos documentos encontrados.

A Figura 3, por sua vez, evidencia predominância de literatura produzida nos Estados Unidos e na China. Não obstante haver indicação de seis entradas sem origem definida, ao analisar-se a afiliação dos autores, que é apresentada na Figura 4, observa-se que essa predominância é coerente.

A Figura 5 apresenta o mapa das ocorrências das palavras-chave catalogadas utilizando-se o *software* VOSviewer. Para construí-lo foi necessária a exclusão do documento (KARATAS; CRAPARO; AKMAN, 2018), uma vez que foi detectado o corrompimento do arquivo “.csv”, proveniente da Scopus, quando o documento era mantido.

Foi estabelecido o limite mínimo de três ocorrências para cada palavra-chave. Com isso, restaram apenas 14 palavras-chave, consideradas como as mais importantes, do total de 175.

Ainda na Figura 5, nota-se a presença dos termos “antissubmarino warfare (asw)” e “anti-submarine warfares”. Esses termos apareceram separadamente, mas ao serem unificados,

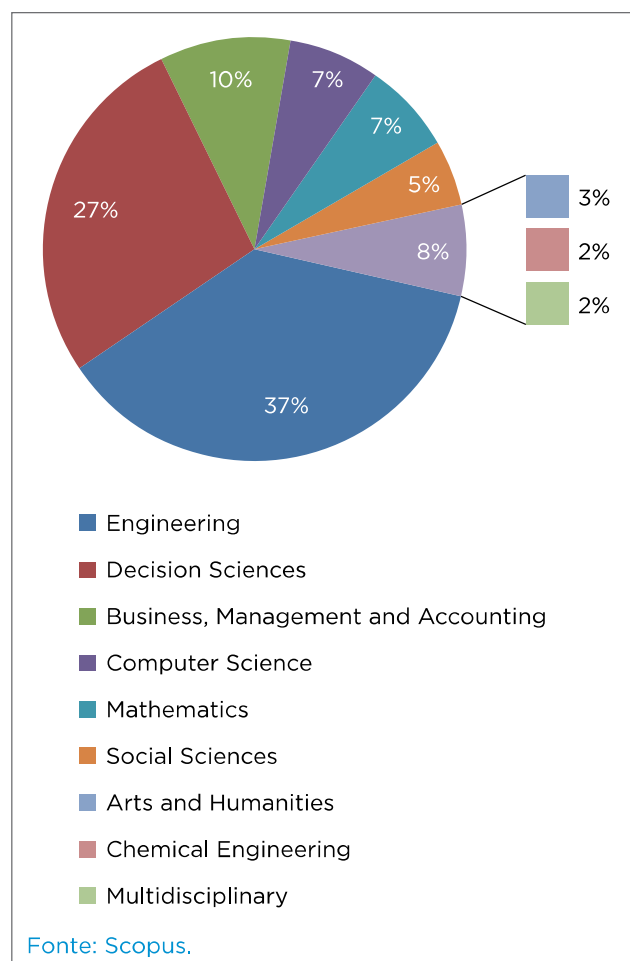


Figura 2. Documentos por área.

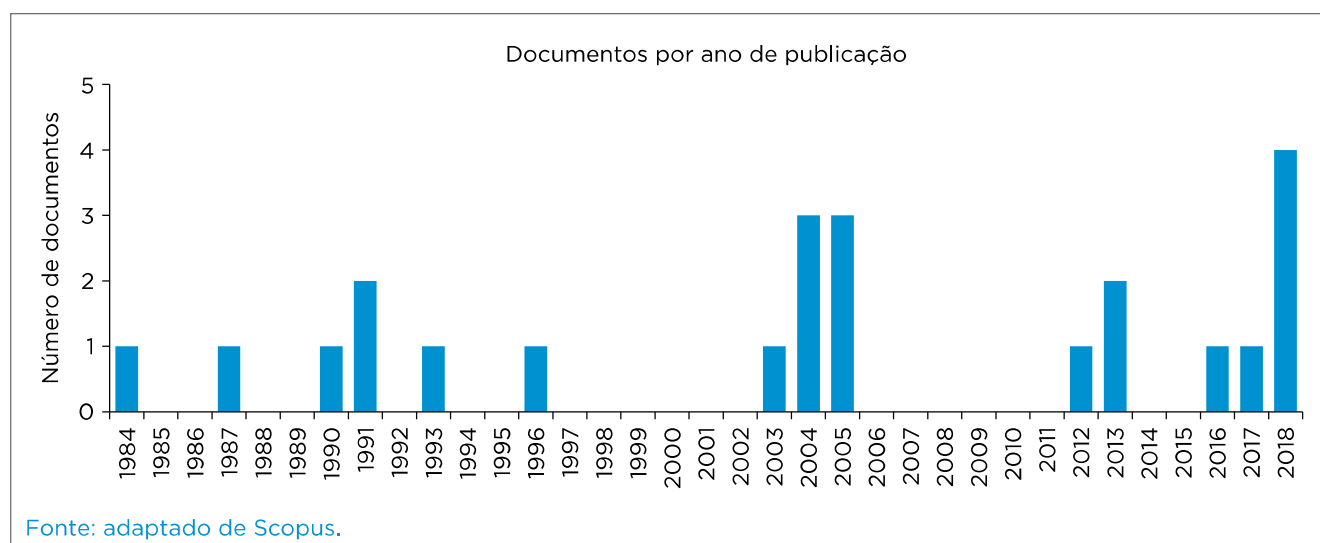


Figura 1. Número de documentos encontrados por ano de publicação.

possuiriam número de ocorrências igual ao do termo “submarines” (oito ocorrências).

A Figura 6 traz uma perspectiva distinta ao representar o mapa das associações mais frequentes de palavras encontradas nos títulos e nos resumos (*abstracts*) dos artigos pesquisados. São marcantes as menções a “system” e “probability”, as quais frequentemente têm papel de destaque na conexão entre os termos “asw”, “antisubmarine warfare” e “target” e os termos “convoy” e “path”.

Todavia a análise desse mapeamento não é suficiente para evidenciar os métodos de PO utilizados. Portanto, procedeu-se à análise dos resumos para extração de mais informações a esse respeito, as quais são apresentadas na Tabela 2. Verifica-se a repetição de um documento (LIU; XUE; WANG, 2013), de modo que há 22 documentos diferentes.

Nota-se preponderância das finalidades relacionadas a: detecção, engajamento de combate e mensuração de eficácia. Mesmo nos documentos voltados para aspectos históricos, as análises compreenderam o aperfeiçoamento da tática por meio do método científico.

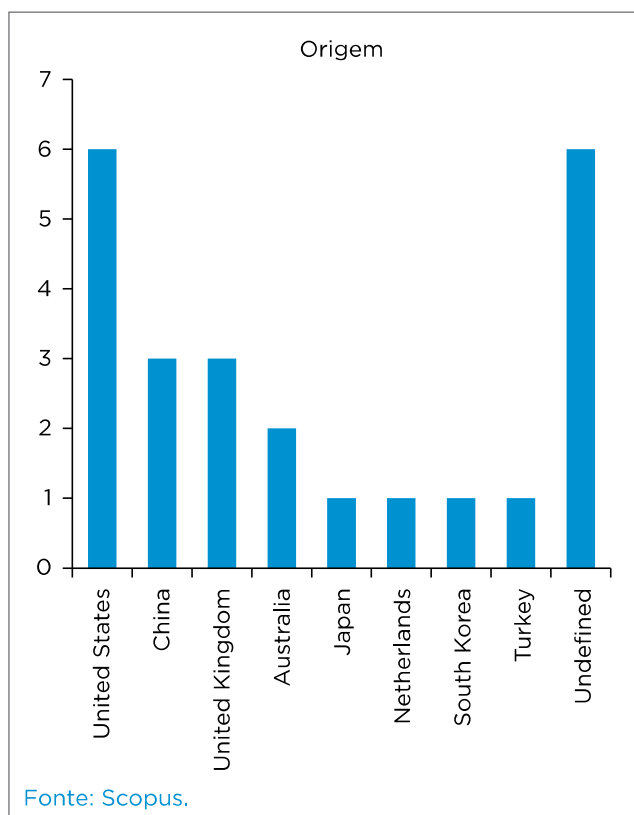


Figura 3. Documentos por país.

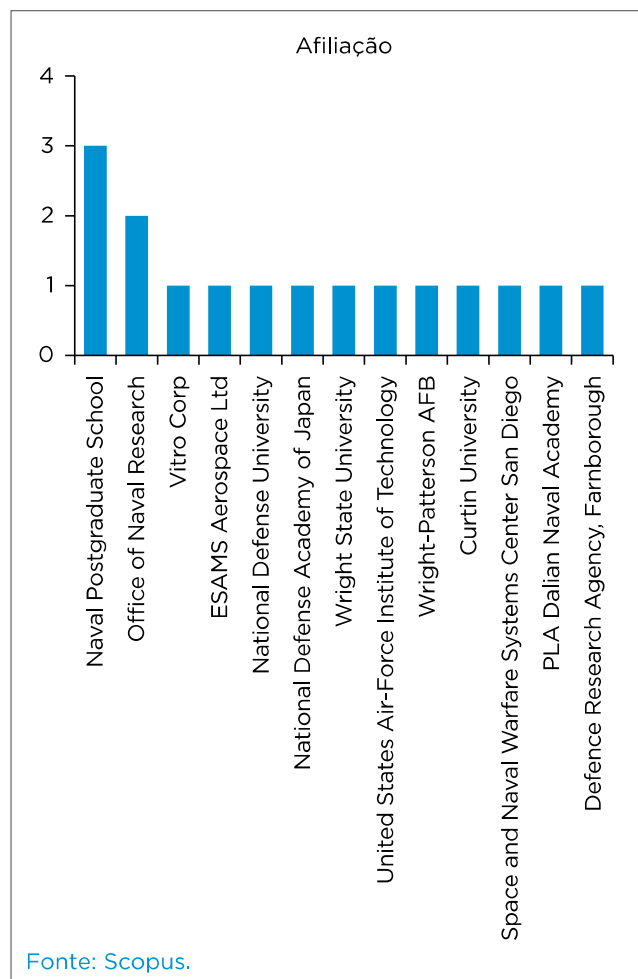


Figura 4. Documentos por afiliação.

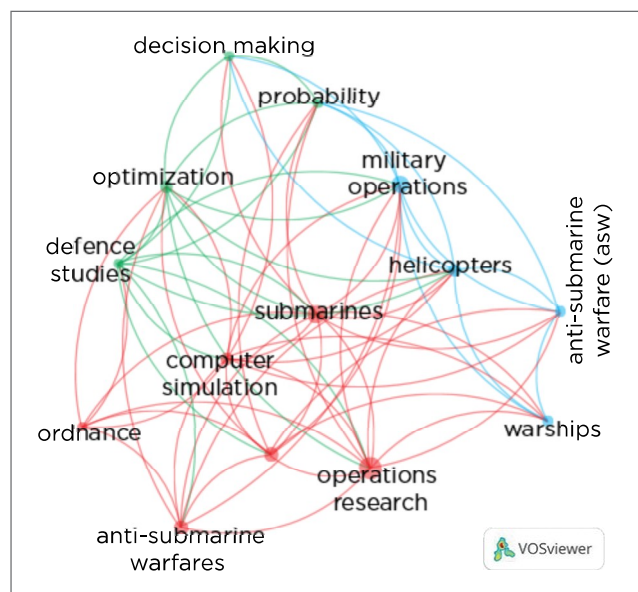


Figura 5. Palavras-chave.

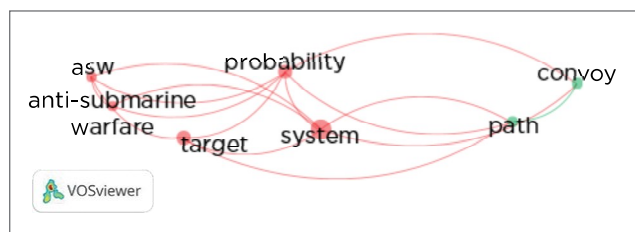


Figura 6. Conexões mais frequentes.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A literatura encontrada, apesar de irregular no tempo, mostra interesse renovado nos últimos anos. A guerra no ambiente submarino é um campo com desenvolvimento centrado nos Estados Unidos e na China e em instituições ligadas às Marinhas.

Tabela 2. Referências encontradas.

Fonte	Elementos metodológicos mencionados	Problema	Finalidade
Karatas et al.(2018)	<i>integral geometry - geometric probability - Monte Carlo Simulation</i>	uso de sonobóias	deteção de submarino
Hew e Yiap(2018)	<i>nonzero-sum two-player network interdiction game -Strong Stackelberg equilibrium.</i>	alocação de recursos-patrolha em <i>chokepoints</i>	oposição ao submarino
Yoash et al.(2018)	$\textit{search pattern}$	maneiras eficientes de operação de helicóptero equipado com <i>dipping</i> sonar	deteção de submarino
Kim et al.(2018)	simulação	experimentação sequencial	engajamento de combate
Duffey(2017)	comparação histórica	exame do impacto de medidas e contramedidas na <i>anti-submarine warfare</i>	lições históricas
Hohzaki(2016)	$\textit{search theory}$	$\textit{search game}$	revisão bibliográfica
Liu et al.(2013)	$\textit{information entropy}$	operação <i>anti-submarine warfare</i> por navio de superfície	medição de eficácia - avaliação da qualidade de informação
Xia et al.(2012)	modelo matemático	cálculo de ângulo de orientação dos torpedos em relação ao alvo - torpedos de busca acústica	engajamento de combate
Glassborow et al. (2005)	otimização discreta	$\textit{shortest path problem}$	medição de eficácia de sistemas ISR - proteção de comboio
Koch (2005)	-	supervisão de unidades navais em alta demanda durante operações de baixa intensidade, desenvolvimento de tecnologias para condução de <i>anti-submarine warfare</i>	discussão/ notícia de defesa
Vermeulene Van DenBrink (2005)	$\textit{search theory}$	$\textit{two-sided, multi-stage search problem}$ busca de submarino inimigo por força naval	deteção de submarino
Schneider Jr.(2004)	-	discussão sobre armas de destruição em massa	discussão/ notícia de defesa

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Fonte	Elementos metodológicos mencionados	Problema	Finalidade
Lok (2004)	-	lançamento da primeira fragata F 310 <i>Fridtjof Nansen-class Aegis-equipped</i> para a <i>Royal Norwegian Navy</i> (RNoN)	discussão/notícia de defesa
Brennan e Denton(2004)	modelo matemático	Comprehensive Maritime Patrol Aircraft Systems Simulation (COMPASS)	eficácia operacional (predição)
Champagne et al. (2003)	\textit{search theory, agent-based simulation}	estudo de caso histórico envolvendo busca ofensiva	deteção de submarino - engajamento em combate
Incze (1996)	oceanografia, acústica e PO	support tactical decision making in military missions	deteção - engajamento em combate
Neveu e Pignon (1993)	simulação	método e ferramentas de simulação para \textit{design} e desenvolvimento	desenvolvimento de sistemas de guerra abaixo d'água para navios de superfície
Crawford e Sawyer(1991)	probabilidade	nova abordagem para quantificar a probabilidade de sucesso de missão <i>anti-submarine warfare</i> sem destruir submarino	mensuração de eficácia
Martin (1991)	-	apresentar assessoramento técnico e científico para a Supreme Allied Commander Atlantic (SACLANT) e nações da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) no campo de guerra antissubmarino	discussão/notícia de defesa
Urban(1990)	-	ataque de torpedo submarino, especificamente engajamentos de salvas contra múltiplos alvos	engajamento de combate
Knapp et al.(1987)	<i>computer simulation</i>	representar situações táticas envolvendo dois submarinos oponentes	engajamento de combate
Eagle (1984)	<i>Markov process</i>	maximização da probabilidade de deteção de um submarino	deteção de um submarino

Percebe-se a concentração dos documentos em áreas de conhecimento voltadas aos métodos de engenharia, matemática e tomada de decisão, que são direcionadas para aplicação direta na guerra antissubmarino, a qual tem por objetivo encontrar, perseguir, deter e avariar ou destruir submarinos inimigos. Vê-se como ramo mais robusto de discussão o tópico de deteção e busca de submarino. São também destacados aspectos de engajamento de combate e de mensuração de eficácia.

Nesse universo de guerra submarina pode ser notada razoável diversidade nos métodos empregados, que podem se relacionar a modelos de otimização e heurísticas, análises matemáticas, simulações e teoria de jogos. Essa diversidade mostra que os problemas encontrados podem ser confrontados sob diversas abordagens.

Reconhece-se que também está presente significativa parcela não direcionada à PO em si, na qual se encontram notícias e discussões sobre defesa. Essas contribuições servem como

elemento para contextualização do interesse político-militar no tema, ajudando na construção do panorama.

A existência de publicações relacionadas ao tema em veículos importantes de PO demonstra o interesse do tema

para a literatura e, dada a aproximação da Marinha às instituições federais de ensino e pesquisa, mostra que é interessante o desenvolvimento de pesquisas nacionais nesse tema específico.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. *Estratégia Nacional de Defesa*. Brasil, 2012.
- BRENNAN, J.F.M.; DENTON, A.L. Compass—the verification and validation of an operational analysis model for use in the prediction of Nimrod MRA4 operational effectiveness. *Journal of the Operational Research Society*, v. 55, n. 4, p. 413-421, 2004. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601663>
- CHAMPAGNE, L.; CARL, E.G.; HILL, R.R. Search theory, agent-based simulation, and U-boats in the bay of Biscay. *In: Simulation Conference, 2003. Anais [...]*. 2003. v. 1. p. 991-998. <https://dx.doi.org/10.1109/WSC.2003.1261521>
- CRAWFORD, J.D.; SAWYER, F.L. ASW measures of effectiveness. *Vitro Technical Journal*, Norfolk, v. 9, n. 1, p. 12-19, 1991.
- DUFFEY, R. B. Submarine warfare and intelligence in the Atlantic and Pacific in the Second World War: comparisons and lessons learned for two opponents. *Journal for Maritime Research*, v. 19, n. 2, p. 143-167, jul. 2017.
- EAGLE, J.N. Optimal search for a moving target when the search path is constrained. *Operations Research*, v. 32, n. 5, p. 1107-1115, 1984.
- GLASSBOROW, D.; CACCETTA, L.; DAVIS, C.; REHBOCK, V. Estimating the value of intelligence, surveillance and reconnaissance in Manoeuvr Warfare. *In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION: ADVANCES AND APPLICATIONS FOR MANAGEMENT AND DECISION MAKING, 2005. Anais [...]*. Rockingham, 2005. p. 1758-1764.
- HEW, P.; YIAP, N. Optimally randomized patrolling of chokepoints for theatre antisubmarine warfare. *Military Operations Research*, v. 23, n. 1, p. 49-56, 2018.
- HOHZAKI, R. Search games: Literature and survey. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, v. 59, n. 1, p. 1-34, 2016. <https://doi.org/10.15807/jorsj.59.1>
- INCZE, B.I. Tactical oceanographic battlespace. *Sea Technology*, Arlington, v. 37, n. 8, p. 43-49, 1996.
- KARATAS, M.; CRAPARO, E.; AKMAN, G. Bistatic sonobuoy deployment strategies for detecting stationary and mobile underwater targets. *Naval Research Logistics*, v. 65, n. 4, p. 331-346, 2018. <https://doi.org/10.1002/nav.21807>
- KIM, J.H.; SEO, K.-M.; LEE, T.-E.; CHOI, B.W. Achieving new insights into combat engagement analysis via simulation-based sequential experimentation. *Military Operations Research*, v. 23, n. 4, p. 51-80, 2018. <https://doi.org/10.5711/1082598323451>
- KNAPP, B.M.; DUDLEY, A.R.; RYDER, J.S. Modelling techniques for simulation of submarine engagements. *Journal of the Operational Research Society*, v. 38, n. 10, p. 891-898, 1987. <https://doi.org/10.1057/jors.1987.154>
- KOCH, A. US Navy outlines expeditionary command plans. *Jane's Defence Weekly*, 2005.
- LIU, J.; XUE, C.-Y.; WANG, Y.-J. A method of information quality assessment of ship ASW operation. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OPERATIONS RESEARCH AND ITS APPLICATIONS IN ENGINEERING, TECHNOLOGY AND MANAGEMENT, 11., 2013. Anais [...]*. China: Institution of Engineering and Technology, 2013. p. 1-4.
- LOK, J.J. Norway's Fridtjof Nansen-class frigates to provide a key strategic advantage. *Jane's International Defence Review*, 2004.
- MARTIN, R.L. SACLANTCEN: submarine threat neutralizer. *Sea Technology*, Londres, v. 32, n. 5, 1991.
- NEVEU, D.; PIGNON, J.-P. Simulation for underwater warfare systems design. *Revue Technique*, v. 25, n. 2, p. 669-682, 1993.
- PESSÔA, L.A.M.; TEIXEIRA, L.S.; GUEDES, M.J.M.; MARTINS, E.R.; SOUZA, A.J.N. Pesquisa Operacional na Marinha Do Brasil: O Casnav, seu presente e perspectivas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 48., 2016, Vitória. Anais [...]*. SBPO, 2016. p. 2302-2312, 2016.
- SCHNEIDER JR., W. A 21st-century role for nuclear weapons. *Issues in Science and Technology*, v. 20, n. 3, p. 55-60, 2004.
- TREFETHEN, F.N. A history of Operations Research. *In: GARRETT, R.A.; LONDON, J.P. (orgs.). Fundamentals of Naval Operations Analysis*. Annapolis: United States Naval Institute, 1970. p. 188-205.
- URBAN, C.D. Design and evaluation of a tactical decision aid. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, 1990. San Diego: US Naval Ocean Syst Center, 1990. p. 812-814.*
- VERMEULEN, J.F.J.; VAN DEN BRINK, M. The search for an alerted moving target. *Journal of the Operational Research Society*, v. 56, n. 5, p. 514-525, 2005. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601847>
- XIA, Z.-J.; ZHANG, X.-H.; XU, L.-Z. Study on orientation angle of two acoustic homing torpedoes relative to target with parallel salvo launched by submarine. *Binggong Xuebao/Acta Armamentarii, Liaoning*, v. 33, n. 5, p. 636-640, 2012.
- YOASH, R.B.; ATKINSON, M.P.; KRESS, M. Where to dip? Search pattern for an antisubmarine helicopter using a dipping sensor. *Military Operations Research*, v. 23, n. 2, p. 19-39, 2018.