

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

Leonardo Antonio Monteiro Pessôa
CASNAV

Departamento de Engenharia de Sistemas
lampessoa@terra.com.br

Edilson Fernandes de Arruda
COPPE/UFRJ

Programa de Engenharia de Produção
efarruda@po.coppe.ufrj.br

Laura Bahiense
COPPE/UFRJ

Programa de Engenharia de Sistemas e Computação
laura@cos.ufrj.br

RESUMO

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

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

ABSTRACT

This paper presents a panorama of applied use of Operations Research methodology on submarine warfare. It presents a bibliographic review based on Scopus database, 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 recent developments and tendencies, and may orient future Brazilian research of on this theme.

Keywords: Operations Research; Defense; Military; ASW.

Como Citar:

PESSÔA, Leonardo Antonio Monteiro; Arruda, Edilson Fernandes; BAHIENSE, Laura.

Um panorama do uso de Pesquisa Operacional no ambiente de guerra submarino. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho objetiva construir um panorama do uso de métodos de pesquisa operacional em aplicações de guerra no ambiente submarino. Para tanto, apresenta-se uma pesquisa bibliográfica com base na plataforma Scopus. A escolha dessa base bibliográfica é justificada pela sua grande abrangência, assim como sua aceitação junto à comunidade científica brasileira.

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

Adicionalmente, é intencionada a captura de documentos que sejam originários de fontes de conhecimento indexadas, de maneira a possibilitar a identificação de tendências quanto à origem dos documentos. Pretende-se ainda inferir o comportamento temporal das publicações relativas ao tema, os tipos de publicação mais frequentes, além dos aspectos metodológicos mais explorados.

De modo a caracterizar metodologicamente a estrutura do trabalho, a próxima seção apresenta uma breve fundamentação teórica com o detalhamento da abordagem empregada na condução do presente trabalho. A seção 3 apresenta os resultados, com foco nas referências identificadas. Por fim, a seção 4 traz uma breve discussão dos resultados e a conclusão deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O interesse pelo ambiente de guerra antissubmarino está relacionada aos primórdios da Pesquisa Operacional organizada, especificamente a desenvolvimentos do "circo" de Blackett [1].

Por outro lado, vemos que há importância específica para o contexto brasileiro, denotada pela importância dada na Estratégia Nacional de Defesa [2] ao ambiente de guerra submarino.

Há menção [3] a referências neste contexto, principalmente teses e dissertações. No entanto, considera-se a Base Scopus como um repositório muito importante para a comunidade científica brasileira, incluindo periódicos de grande relevância, o que permite verificar os avanços metodológicos mais importantes e identificar tendências quanto a: temporalidade, origem e áreas de conhecimento envolvidas. Além de contribuir para identificar possibilidades de aplicação e de

lacunas metodológicas.

Para este objetivo, detalha-se a seguir a metodologia de levantamento.

2.1. METODOLOGIA DO LEVANTAMENTO

Na fase inicial, o método utilizado para a condução da revisão bibliográfica consiste dos seguintes passos:

1. Pesquisa na base Scopus utilizando os termos “submarine” “warfare” e “Operations Research” ou “Operational Research”
2. Apresentação dos resultados relativo a:
 - Temporalidade
 - Origem
 - Áreas de Conhecimento
3. Mapeamento das palavras chave mais relevantes, utilizando o software vosviewer
4. Mapeamento das palavras mais relevantes constantes do abstract, utilizando o software vosviewer
5. Classificação dos itens quanto ao domínio e à Ferramenta de pesquisa operacional (PO) utilizada.

3. RESULTADOS

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

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

Tabela 1: Termos de pesquisa e resultados. Fonte: Autores

A figura 1 mostra o número de publicações levantadas por ano. Observa-se um comportamento irregular das publicações, com vários anos sem representação.

Todavia, nota-se o que parece ser o início de uma tendência de aumento de publicações a partir de 2016. Verifica-se, a partir daí, publicações todos os anos. Além disso, cabe observar que o maior número de publicações anuais dá-se exatamente no último ano, em 2018.

Isso sugere um aumento de interesse pelo tema nos últimos anos e o possível início de uma trajetória ascendente do número de publicações.

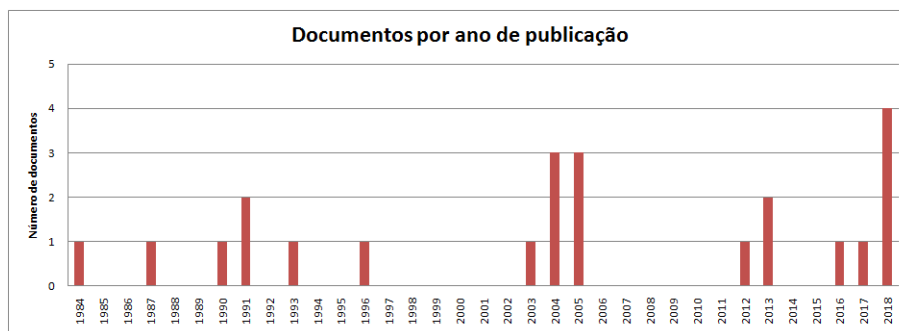


Figura 1: Documentos por ano. Fonte: Scopus (adaptado)

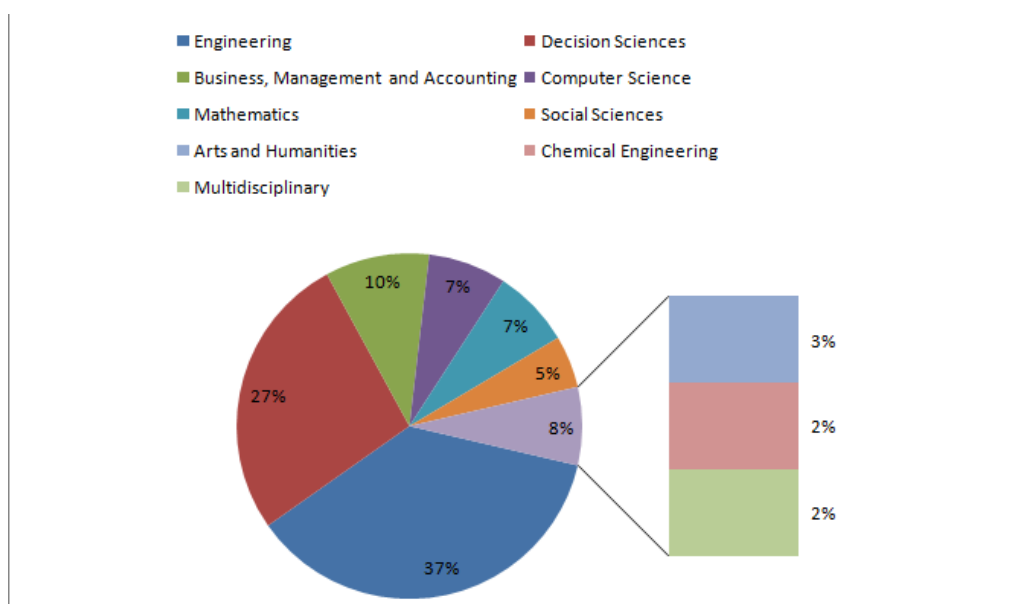


Figura 2: Documentos por área. Fonte: Scopus

Já a figura 2 coloca os artigos em perspectiva em função de sua área de conhecimento. Nota-se uma predominância de documentos afetos à área de engenharia e ciência da decisão, que representam mais de 60% dos documentos encontrados

A figura 3, por sua vez, evidencia uma 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, apresentada na figura 4, observa-se que a predominância mencionada é coerente.

A figura 5 apresenta um mapa das ocorrências das palavras-chave catalogadas, utilizando-se o software *VOS viewer*.

Para a construção deste mapa foi necessária a exclusão do documento [4], uma vez que foi detectado o corrompimento do arquivo ".csv" proveniente da Scopus, quando o mesmo era mantido.

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

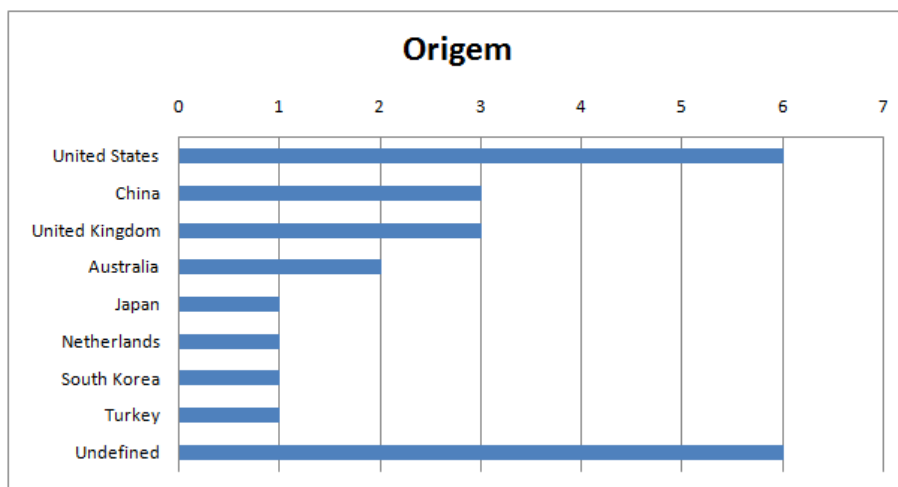


Figura 3: Documentos por país. Fonte: Scopus

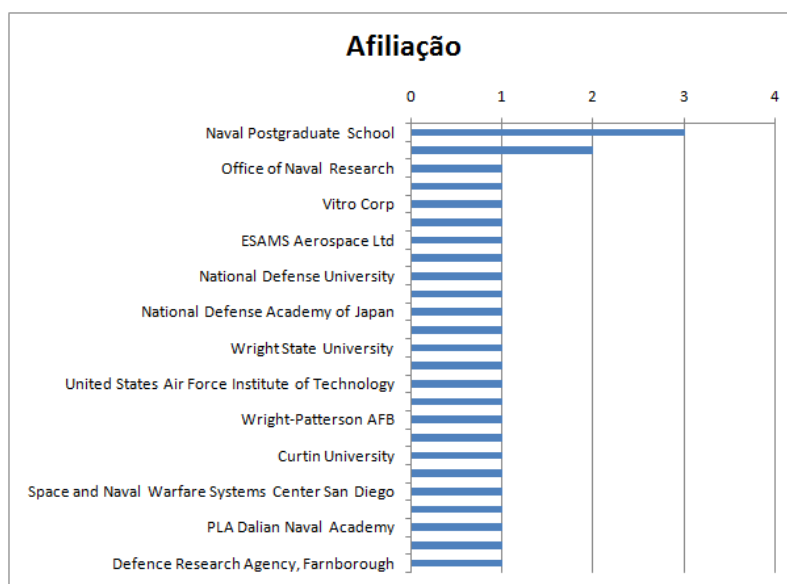


Figura 4: Documentos por afiliação. Fonte: Scopus

total de 175.

Ainda na figura 5, nota-se a presença dos termos “anti-submarine warfare (asw)” e “anti-submarine warfares”. Estes aparecem separadamente, mas em sendo unificados, possuiriam número de ocorrências igual ao do termo “submarines”(8 ocorrências).

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

Todavia a análise deste mapeamento não é suficiente para evidenciar os

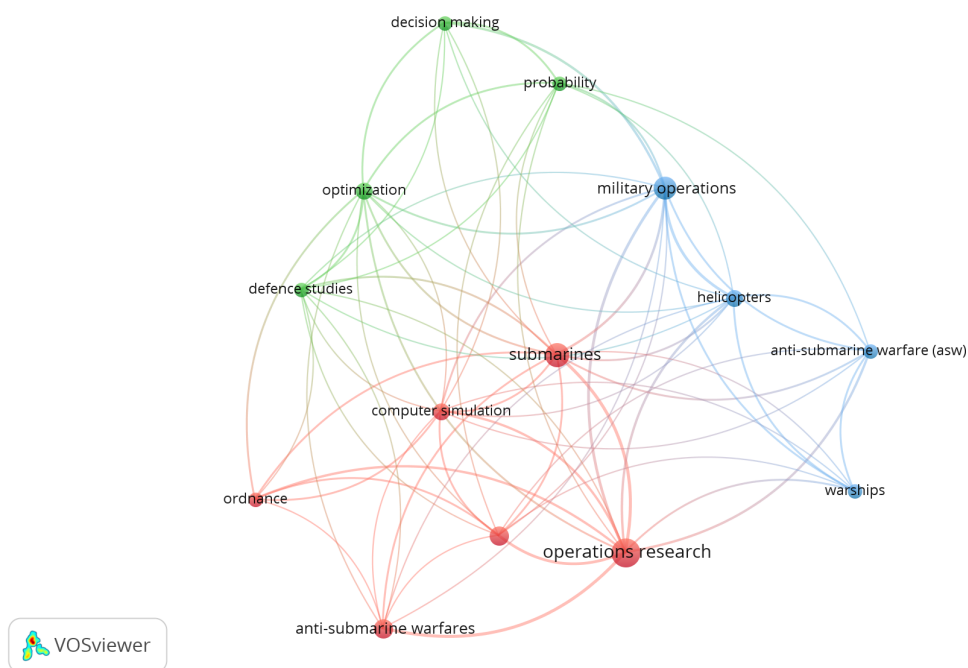


Figura 5: Keywords. Fonte: Autores

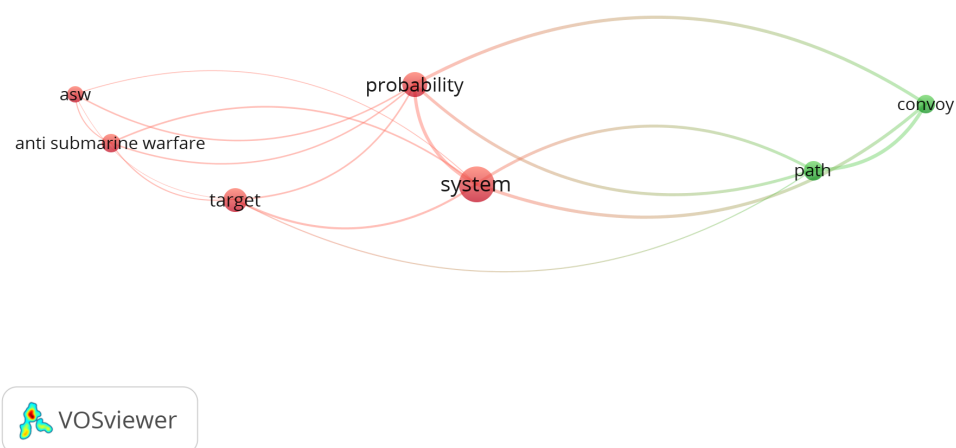


Figura 6: Conexões mais frequentes Fonte: Autores

métodos de Pesquisa Operacional utilizados. Portanto, procedeu-se uma 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 ([5]), de modo que se contam 22 documentos diferentes

Fonte	Elementos metodológicos mencionados	Problema	Finalidade
[4]	integral geometry - geometric probability - Monte Carlo Simulation	uso de sonobóias	deteção de submarino
[6]	nonzero-sum two-player network interdiction game - Strong Stackelberg equilibrium.	alocação de recursos - Patrulha em "chokepoints"	oposição ao submarino
[7]	<i>search pattern</i>	maneiras eficientes de operação de helicóptero equipado com "dipping sonar"	deteção de submarino
[8]	simulação	experimentação sequencial	engajamento de combate
[9]	comparação histórica	exame do impacto de medidas e contramedidas na asw	lições históricas
[10]	<i>search theory</i>	<i>search game</i>	revisão bibliográfica
[5]	<i>information entropy</i>	operação ASW por navio de superfície	medição de eficácia - avaliação da qualidade de informação
[11]	modelo matemático	cálculo de ângulo de orientação dos torpedos em relação ao alvo - torpedos de busca acústica	engajamento de combate
[12]	otimização discreta	<i>shortest path problem</i>	medição de eficácia de sistemas ISR - proteção de comboio
[13]	-	supervisão de unidades navais em alta demanda durante operações de baixa intensidade desenvolvimento de tecnologias para condução de "anti-submarine warfare"	discussão / notícia de defesa

[14]	<i>search theory</i>	<i>two-sided, multi-stage search problem</i>	detecção de submarino
[15]	-	discussão sobre armas de destruição em massa	discussão / notícia de defesa
[16]	-	Lançamento da primeira fragata F 310 Fridtjof Nansen-class Aegis-equipped para a Royal Norwegian Navy (RNoN)	discussão / notícia de defesa
[17]	modelo matemático	Comprehensive Maritime Patrol Aircraft Systems Simulation (COMPASS)	eficácia operacional (predição)
[18]	<i>search theory, agent-based simulation</i>	estudo de caso histórico envolvendo busca ofensiva	detecção de submarino - engajamento em combate
[19]	oceanografia, acústica, e PO	support tactical decision making in military missions	detecção - engajamento em combate
[20]	simulação	método e ferramentas de simulação para <i>design</i> e desenvolvimento	desenvolvimento de sistemas de guerra abaixo d'água para navios de superfície
[21]	probabilidade	nova abordagem para quantificar a probabilidade de sucesso de missão ASW sem destruir submarino	mensuração de eficácia
[22]	-	apresentar assessoramento técnico e científico para SACLANT (Supreme Allied Commander Atlantic) e nações da OTAN no campo de guerra antissubmarino	discussão / notícia de defesa
[23]	-	ataque de torpedo submarino, especificamente engajamentos de salvas contra múltiplos alvos	engajamento de combate
[24]	computer simulation	representar situações táticas envolvendo dois submarinos oponentes	engajamento de combate
[25]	Markov process	maximização da probabilidade de detecção de um submarino	detecção de um submarino

Tabela 2: Referências Encontradas. Fonte: Scopus

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

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

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

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

Nesse universo de Guerra no ambiente submarino pode ser notada uma razoável diversidade nos métodos empregados, desde modelos de otimização e heurísticas, passando por análise matemática, simulação, e teoria de jogos. Esta diversidade mostra que os problemas encontrados podem ser encarados sob diversas abordagens.

Reconhece-se que também está presente uma significativa parcela não devotada à Pesquisa Operacional em si, na qual encontram-se notícias e discussões sobre defesa. Estas contribuições servem como elemento para contextualização do interesse político-militar no tema, ajudando na construção do panorama.

A existência de publicações relacionadas ao tema publicadas 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-se interessante o desenvolvimento de pesquisa nacional nesse tema específico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TREFETHEN, F. N. A history of Operations Research. In: *Fundamentals of Naval Operational Analysis*. Annapolis: United States Naval Institute, 1970. cap. A history, p. 188–205. 1
- [2] BRASIL. *Estratégia Nacional de Defesa*. 2012. 1
- [3] PESSÔA, L. A. M. et al. Pesquisa Operacional na Marinha Do Brasil : O Casnav , seu presente e perspectivas. In: *SBPO*. Vitória: [s.n.], 2016. p. 2302–2312. 1
- [4] KARATAS, M.; CRAPARO, E.; AKMAN, G. Bistatic sonobuoy deployment strategies for detecting stationary and mobile underwater targets. *Naval Research Logistics (NRL)*, v. 65, n. 4, p. 331–346, jun. 2018. ISSN 0894069X. 3, 6
- [5] LIU, J.; XUE, C.-Y.; WANG, Y.-J. A method of information quality assessment of ship ASW operation. In: *11th International Symposium on Operations Research and its Applications in Engineering, Technology and Management 2013, ISORA 2013*. Academy of Navy Submarine, Qingdao 266071, China: Institution of Engineering and Technology, 2013. p. 1–4. ISBN 9781849197137 (ISBN). 5, 6
- [6] HEW, P.; YIAP, N. Optimally randomized patrolling of chokepoints for theatre antisubmarine warfare. *Military Operations Research*, Military Operations Research Society, Department of Defence, Australia, v. 23, n. 1, p. 49–56, 2018. ISSN 02755823 (ISSN). 6
- [7] YOASH, R. B.; ATKINSON, M. P.; KRESS, M. Where to dip? Search pattern for an antisubmarine helicopter using a dipping sensor. *Military Operations Research*, Military Operations Research Society, Naval Postgraduate School, United States, v. 23, n. 2, p. 19–39, 2018. ISSN 02755823 (ISSN). 6
- [8] KIM, J. H. et al. Achieving new insights into combat engagement analysis via simulation-based sequential experimentation. *Military Operations Research*, Military Operations Research Society, Agency for Defense Development, South Korea, v. 23, n. 4, p. 51–80, 2018. ISSN 02755823 (ISSN). 6
- [9] 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. ISSN 2153-3369. 6
- [10] HOHZAKI, R. Search games: Literature and survey. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, v. 59, n. 1, p. 1–34, 2016. ISSN 0453-4514. 6
- [11] 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*, Department of Information and Communication Engineering, Dalian Navy Academy, Dalian 116018, Liaoning, China, v. 33, n. 5, p. 636–640, 2012. ISSN 10001093 (ISSN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84863567715&partnerID=40&md5=b87d3c46cc5d946c31c9f8b11d5710ea>>. 6
- [12] GLASSBOROW, D. et al. Estimating the value of intelligence, surveillance and reconnaissance in Manoeuvre Warfare. In: *MODSIM05 - International Congress on Modelling and Simulation: Advances and Applications for Management and Decision Making*. Maritime Operations Division, Defence Science and Technology Organisation, Building A51, Rockingham, WA 6958, Australia: [s.n.], 2005. p. 1758–1764. ISBN 0975840002 (ISBN); 9780975840009 (ISBN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80053123909&partnerID=40&md5=b53e545399aec0ae2422e0840f0653c4>>. 6
- [13] KOCH, A. US Navy outlines expeditionary command plans. *Jane's Defence Weekly*, n. OCT., 2005. ISSN 02653818 (ISSN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84861270651&partnerID=40&md5=c412906e23aa8280a71aba66086b32c0>>. 6
- [14] VERMEULEN, J. F. J.; Van Den Brink, M. The search for an alerted moving target. *Journal of the Operational Research Society*, TNO Phys. and Electronics Laboratory, The Hague, Netherlands, v. 56, n. 5, p. 514–525, 2005. ISSN 01605682 (ISSN). 7
- [15] Schneider Jr., W. A 21st-century role for nuclear weapons. *Issues in Science and Technology*, Defense Science Board, Department of Defense, v. 20, n. 3, p. 55–60, 2004. ISSN 07485492 (ISSN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-2442645102&partnerID=40&md5=1491e0948b739a587b9dec1a34890341>>. 7
- [16] LOK, J. J. Norway's Fridtjof Nansen-class frigates to provide a key strategic advantage. *Jane's International Defence Review*, n. MAR., 2004. ISSN 14762129 (ISSN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-50049123095&partnerID=40&md5=af0bccfb847d0c154ea47775ab06bf0e>>. 7
- [17] 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*, Integrated Defence Analysis Team, BAE SYSTEMS, Warton, Preston, Lancashire, United Kingdom, v. 55, n. 4, p. 413–421, 2004. ISSN 01605682 (ISSN). 7
- [18] CHAMPAGNE, L.; Greg Carl, R.; HILL, R. Search theory, agent-based simulation, and U-boats in the bay of biscay. In: S.E., C. et al. (Ed.). *2003 Winter*

- Simulation Conference: Driving Innovation*. Department of Operational Sciences, Air Force Institute of Technology, Wright Patterson AFB, OH 45433, United States: [s.n.], 2003. v. 1, p. 991–998. ISBN 02750708 (ISSN). 7
- [19] INCZE, B. I. Tactical oceanographic battlespace. *Sea Technology*, Compass Publications Inc, Arlington, VA, United States, v. 37, n. 8, p. 43–49, 1996. ISSN 00933651 (ISSN). 7
- [20] NEVEU, D.; PIGNON, J.-P. Simulation for underwater warfare systems design. *Revue technique - Thomson-CSF*, THOMSON SINTRA, v. 25, n. 2, p. 669–682, 1993. ISSN 00354279 (ISSN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027617637&partnerID=40&md5=562a405c1b784f191e370fd2b47989a5>>. 7
- [21] CRAWFORD, J. D.; SAWYER, F. L. ASW measures of effectiveness. *Vitro Technical Journal*, Vitro Corp, Norfolk, United States, v. 9, n. 1, p. 12–19, 1991. ISSN 1054481X (ISSN). 7
- [22] MARTIN, R. L. SACLANTCEN: submarine threat neutralizer. *Sea Technology*, Office of Naval Research, London, United Kingdom, v. 32, n. 5, 1991. ISSN 00933651 (ISSN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0026155264&partnerID=40&md5=06ec73155d6dad63116a5938fe2d8a85>>. 7
- [23] URBAN, C. D. Design and evaluation of a tactical decision aid. In: *1990 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. US Naval Ocean Syst Center, San, Diego, CA, USA: Publ by IEEE, 1990. p. 812–814. ISBN 08843627 (ISSN); 0879425970 (ISBN). 7
- [24] KNAPP, B. M.; DUDLEY, A. R.; RYDER, J. S. Modelling techniques for simulation of submarine engagements. *Journal of the Operational Research Society*, ESAMS Ltd., Camberley, Surrey, United Kingdom, v. 38, n. 10, p. 891–898, 1987. ISSN 01605682 (ISSN). 7
- [25] EAGLE, J. N. Optimal search for a moving target when the search path is constrained. *Operations Research*, US Naval Postgraduate Sch, Monterey,, CA, USA, US Naval Postgraduate Sch, Monterey, CA, USA, v. 32, n. 5, p. 1107–1115, 1984. ISSN 0030364X (ISSN). 7