
REVISTA
**PESQUISA
NAVAL**

NÚMERO 31 - 2019



DIRETORIA-GERAL DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR
E TECNOLÓGICO DA MARINHA (DGDNTM)

REVISTA

PESQUISA NAVAL

NÚMERO 31 - 2019

REVISTA
**PESQUISA
NAVAL**

A Revista Pesquisa Naval tem como missão proporcionar à comunidade científica um canal formal de comunicação e de disseminação da produção técnico-científica nacional, por meio da publicação de artigos originais que sejam resultados de pesquisas científicas e que contribuam para o avanço do conhecimento nas áreas de interesse da MB. Os artigos aqui publicados não refletem a posição ou a doutrina da Marinha e são da responsabilidade dos seus autores.

PATROCÍNIO

Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha - DGDNTM

EDITOR-CHEFE

Almirante de Esquadra Marcos Sampaio Olsen

Diretor-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha

EDITORES ADJUNTOS

Vice-Almirante Noriaki Wada

Diretor do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo - CTMSP

Contra-Almirante (EN) Luiz Carlos Delgado

Diretor do Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro - CTMRJ

Contra-Almirante (RM1-EN) Humberto Moraes Ruivo

Diretor da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade - AgNSNQ

Contra-Almirante (RM1) Paulo Cesar Demby Corrêa

Assessor-Chefe de Relações Institucionais e Comunicação Social da DGDNTM

CONSELHO EDITORIAL

CMG (T) Regina Boanerges Siqueira

CF André Vinicius Faro Nunes

CF Marco Aurélio de Castro Farias

SCNS Cristina Gonçalves Peroni

2T (AA) Ana Cristina dos Santos Dutra

2ºSG-CN Anderson Joel Silva de Araújo

2ºSG-BA Carlos Victor dos Santos Teixeira

EDIÇÃO

Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha - DGDNTM

www.marinha.mil.br/dgdntm/revista

PRODUÇÃO EDITORIAL

Zeppelini Publishers

www.zeppelini.com.br

Revista Pesquisa Naval / Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
v. 1, n. 1, 1988 - Brasília - DF - Brasil - Marinha do Brasil

Anual

Título abreviado: Pesq. Nav.

ISSN Impresso 1414-8595 /

ISSN Eletrônico 2179-0655

1. Marinha - Periódico - Pesquisa Científica. Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha.

CDU 001.891.623/.9
CDD 623.807.2

APRESENTAÇÃO

1 DIRETOR-GERAL DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR E TECNOLÓGICO DA MARINHA

Almirante de Esquadra Marcos Sampaio Olsen

ANÁLISE DE SISTEMAS COMPLEXOS

2 APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS INTEGRADA COM CONCEITOS ENXUTOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS EM UM HOSPITAL MILITAR DE CAMPO

Application of the discrete event simulation integrated with lean concepts for implementing improvements in a military field hospital

Carlos Henrique dos Santos, Gustavo Teodoro Gabriel, Afonso Teberga Campos, José Antonio de Queiroz, José Arnaldo Barra Montevechi

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS

14 CALIBRAÇÃO E MODELAGEM EM ELEMENTOS FINITOS DA COMPACTAÇÃO DE PZT USANDO O MODELO DRUCKER-PRAGER/CAP

Calibration and modeling in finite elements of PZT compaction using the Drucker-Prager/cap model

Mateus M. Morais, Caiuã C. Melo, Rodrigo B. Canto, Carlos A. Fortulan

18 EFEITO DE ADITIVOS NO PREPARO DE MEMBRANAS VISANDO O USO EM CONTACTORES GÁS-LÍQUIDO

Effect of additives on the preparation of membranes for use in gas-liquid contactors

Gustavo Hidetaka Hashimoto, Cristina Cardoso Pereira, Felipe Brandão de Souza Mendes, Cristiano Piasek Borges, Ana Paula Santiago De Falco

22 PRODUÇÃO DE ADITIVOS À BASE DE ÉTERES DO GLICEROL PARA MELHORIA DE PROPRIEDADES DE FLUXO A FRIO

Production of glycerol ethers additives for improving cold flow properties

Paula Araujo de Oliveira, Claudio José de Araujo Mota, Bianca Peres Pinto

26 REVESTIMENTO SOL-GEL CONTENDO INIBIDOR DE CORROSÃO ENCAPSULADO PARA PROTEÇÃO DE LIGAS AA2024

Sol-gel coating containing encapsulated corrosion inhibitor for protection of AA2024 alloys

Lais de Campos Barbieri, Brenda Diane Pereira Martins, Renata Batista Rivero Garcia, Elizabete Yoshie Karwachi

31 CONSTRUÇÃO DE ARTEFATOS CIBERNÉTICOS DE ALTA CAPACIDADE UTILIZANDO OS RECURSOS DE ALTO PRIVILÉGIO DE MICROPROCESSADORES

Building high capacity cyber artifacts using high privileged resources from microprocessors

William Augusto Rodrigues de Souza

PESQUISA OPERACIONAL

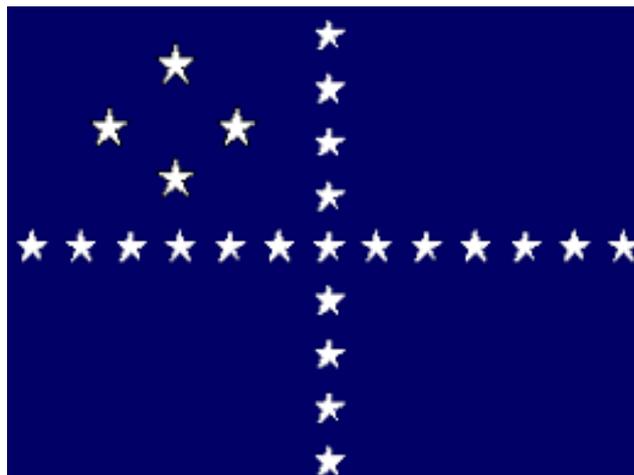
36 UM PANORAMA DO USO DE PESQUISA OPERACIONAL NO AMBIENTE DE GUERRA SUBMARINO

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

Leonardo Antonio Monteiro Pessôa, Edilson Fernandes de Arruda, Laura Babiense

PROCESSOS DECISÓRIOS

- 43** **UMA SISTEMÁTICA DE DECISÃO PARA O CORPO DE FUZILEIROS NAVAIS BASEADA EM MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO**
A decision-making system for the Marine Corps based on multi-criteria decision support methods
Leonardo Amorim do Amaral, Newton José Ferro, José Calixto dos Santos Junior, Sérgio Douglas Oliveira Bentes, Newton José Ferro Junior
- 54** **UTILIZAÇÃO DO MÉTODO SAPEVO-M COM PARÂMETROS DO MODELO SCOR 12.0 PARA RANQUEAMENTO DOS FORNECEDORES EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE MATERIAL HOSPITALAR DA MARINHA DO BRASIL**
Use of the sapevo-m method with parameters of the scor 12.0 Model for ranking of suppliers in a supply chain of hospital material of the Brazilian Navy
Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros Teixeira, Priscilla Cristina Cabral Ribeiro, Carlos Francisco Simões Gomes, Marcos dos Santos



DIRETOR-GERAL DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR E TECNOLÓGICO DA MARINHA

ALMIRANTE DE ESQUADRA
MARCOS SAMPAIO OLSEN

A continuidade e a perseverança nas atividades científicas, tecnológicas e de inovação revelam, ao longo dos anos, significativas produções na fronteira do conhecimento, as quais são invariavelmente voltadas para a resolução de desafios impostos pelo estamento social. Essa incessante busca por aprimoramentos e superações exige esforços coordenados e contínuos, que compreendem desde a formação e a capacitação acadêmica até a modernização da infraestrutura laboratorial e o fomento de investigações científicas, sobretudo as orientadas para uma exigência do contemporâneo: as tecnologias disruptivas.

No campo específico da defesa, a Marinha do Brasil, em sintonia com renomadas universidades e indústrias, mas fundamentada nos preceitos da Estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), vem de modo gradual aportando investimentos essenciais à promoção e ao desenvolvimento de soluções modernas e autóctones. Tais investimentos visam contribuir para proliferar o conhecimento inovador que potencialize preferencialmente a aplicação dual, diante das progressivas demandas em prol do preparo e do emprego do poder naval, mas que também possam corporificar-se em prêmios para a sociedade.

Nesse contexto, a presente edição da revista *Pesquisa Naval* apresenta recentes contribuições científicas, julgadas de valor por instâncias propectas, que abarcam temas como aplicações nas áreas de pesquisa operacional, análise de sistemas complexos, desenvolvimento de materiais e processos decisórios. Ao tempo que a Marinha do Brasil vem obtendo importantes avanços tecnológicos, derivados em grande medida de seus programas estratégicos, cabe por justo congratular os autores dos artigos desta edição, concitando todos que atuam nas áreas de pesquisa e desenvolvimento a dedicarem seus empreendimentos na incessante busca pelo aperfeiçoamento tecnológico aplicado.

Boa leitura!

APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS INTEGRADA COM CONCEITOS ENXUTOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS EM UM HOSPITAL MILITAR DE CAMPO

Application of the discrete event simulation integrated with lean concepts for implementing improvements in a military field hospital

Carlos Henrique dos Santos¹, Gustavo Teodoro Gabriel², Afonso Teberga Campos³, José Antonio de Queiroz⁴, José Arnaldo Barra Montevechi⁵

Resumo: A Simulação de Eventos Discretos (SED) e o *Lean* aplicados em serviços de saúde auxiliam na qualidade e na eficiência dos serviços prestados. Diante disso, o objetivo do artigo é utilizar a SED em conjunto com os princípios enxutos para analisar a estrutura de um hospital militar de campo e avaliar a capacidade desse hospital quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais. Para isso, o hospital de campo foi simulado no *software* FlexSim Healthcare[®] e, juntamente com o planejamento de experimentos (DoE), foi definido o número ideal de locais e de recursos. A principal medida de saída foi o número total de pacientes completamente tratados. Os resultados mostraram que, como está configurado atualmente, o hospital de campo não é capaz de lidar com a demanda, uma vez que apenas 20,6% dos pacientes (588 de 2.855) foram completamente tratados. No entanto, após alterar as variáveis de decisão, a porcentagem de pacientes completamente tratados aumentou para 93,6% (2.673 de 2.855), significando aumento de 355%. Para alcançar tal resultado, o número total de locais aumentou 162% (de 90 para 236), enquanto o número total de recursos humanos diminuiu 52% (de 63 para 30).

Palavras-chave: Simulação de Eventos Discretos. *Lean Healthcare*. Planejamento de experimentos. Hospital de campo.

Abstract: Discrete Event Simulation (DES) and Lean applied in health services help the quality and efficiency of their services. The objective of this article is to use DES with the aid of Lean principles to analyze the structure of a military field hospital and to assess its ability to care for patients in case of environmental disasters. For this, the field hospital was simulated using FlexSim Healthcare[®] software and, with the aid of Design of Experiments (DoE), the optimal number of locations and resources was defined. The main measure of output was the total number of patients completely treated. Results showed that, as currently configured, the field hospital is unable to cope with the demand, as only 20.6% of patients (588 out of 2,855) were completely treated. However, after changing the decision variables, the percentage of fully treated patients increased to 93.6% (2673 out of 2,855), which means an increase of 355%. To achieve this result, the total number of locations increased by 162% (from 90 to 236), while the total number of human resources decreased by 52% (from 63 to 30).

Keywords: Discrete Event Simulation. Lean healthcare. Design of Experiments. Field hospital.

1. Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG - Brasil. E-mail: chenrique.santos@unifei.edu.br

2. Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG - Brasil. E-mail: gustavo.teodoro.gabriel@gmail.com

3. Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG - Brasil. E-mail: afonso.teberga@gmail.com

4. Professor Doutor na Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG - Brasil. E-mail: ja.queiroz@unifei.edu.br

5. Professor Doutor na Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG - Brasil. E-mail: montevechi@unifei.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A Simulação de Eventos Discretos (SED) é comumente usada para estudos e análises de sistemas complexos, como sistemas de manufatura, sistemas de transporte, bancos e até mesmo hospitais (BANKS et al., 2010; SARGENT, 2013; LAW, 2015). Quando se trata de cuidados de saúde, a SED tem papel importante desde a década de 1960 (BRAILSFORD et al., 2009) e, há pouco tempo, hospitais e autoridades em saúde tornaram-se mais conscientes quanto ao potencial da SED para melhoria dos serviços prestados (CHENG; DRIVE; RABE, 2016). Exemplos de estudos que utilizaram SED em ambientes de saúde são encontrados na literatura (HUSSEIN et al., 2017; BABASHOV et al., 2017; URIARTE et al., 2017). Além disso, ferramentas comuns à manufatura também podem ser aplicadas às áreas de saúde. O *Lean Healthcare* pode ser implementado na solução e na otimização dos processos dessas áreas (GRABAN, 2013).

O *Lean* aplicado em hospitais e serviços de saúde pode mudar de forma muito positiva como esses ambientes são organizados e geridos. A metodologia *Lean Healthcare* proporciona aos hospitais menor tempo de espera dos pacientes, redução nos erros cometidos e aumento na qualidade dos serviços prestados (GRABAN, 2013). Além disso, a SED destaca-se como ferramenta promissora na previsão de comportamentos de processos que apresentam tempos de processamento estocásticos. Esse método traz dinamismo para o mapa do estado atual e o mapa do estado futuro do processo, sendo possível inferir como os recursos estão sendo utilizados e onde estão localizados os desperdícios (DOGAN; UNUTULMAZ, 2014).

Por essa razão, de modo separado, a SED e o *Lean* têm recebido atenção crescente nessa área (ROBINSON et al., 2012). Filser, Silva e Oliveira (2017) identificaram mais de 300 estudos sobre *Lean* na área de saúde, sendo 99% publicados a partir de 2002. Já Brailsford et al. (2009) estimam a existência de cerca de 44 mil artigos sobre simulação na área de saúde, sendo mais de 80% publicados a partir da década de 1990. Porém, quando integrados, o *Lean* e a SED constroem uma relação sinérgica, potencializando seus benefícios. Entre os benefícios dessa integração para o *Lean*, cabe destacar, por ora, a possibilidade de avaliar antecipadamente os resultados das melhorias propostas, sem a necessidade de experimentá-las no sistema real (BHAT; GIJO; JNANESH,

2014; BARIL et al., 2017; WANG et al., 2015; HADDAD et al., 2016). Já para a SED, a integração permite focar o ganho de eficiência por meio da eliminação de desperdícios, utilizando conceitos e técnicas do *Lean* (RAGHAVAN et al., 2010; BHAT; GIJO; JNANESH, 2014; YANG et al., 2015; HUANG; KLASSEN; 2016).

No que se refere a ambientes de saúde, existem diferentes tipos de hospitais, cada um projetado para atender a demandas específicas. Projetados e gerenciados pelo exército dos Estados Unidos, os hospitais de campo (HC) são construídos com intuito de atender pessoas quando desastres naturais ocorrem, posto que vários furacões atingiram o continente norte americano nos últimos anos. HCs precisam fornecer atendimento imediato aos pacientes, portanto, é necessário que sejam bem projetados, para que possam lidar com a demanda de pacientes de maneira eficiente. Áreas atingidas por furacões muitas vezes perdem suas fontes de eletricidade e acesso a água potável, comunicação, transporte e distribuição de alimentos e remédios. Muitos desses canais de distribuição permaneceram inertes e inoperáveis por vários dias após o desastre. Por essa razão, toda comunidade deve estar preparada para prestar assistência médica imediata e duradoura às populações afetadas por esses eventos.

Diante desse contexto, os objetivos deste estudo foram analisar a estrutura de um HC e avaliar a capacidade desse hospital quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais. Além disso, objetivou-se também avaliar e definir o número ideal de recursos e de equipamentos necessários, bem como o leiaute mais adequado para atendimento eficiente. Ainda, o escopo do projeto visou possibilitar o atendimento do maior número possível de pacientes sem que os recursos estejam ociosos. Para isso, foi definido o escopo do objeto de estudo e foram aplicadas em conjunto as ferramentas *Lean Healthcare*, SED e *Design de Experimentos (DoE)*, para a avaliação do cenário atual e das possíveis melhorias para futuros cenários do hospital estudado.

O artigo está dividido da seguinte forma: a seção 1 apresentou a introdução e a contextualização do problema. A seção 2 apresenta revisão bibliográfica, definindo os conceitos de SED e de *Lean Healthcare* e a integração dessas ferramentas. Em seguida, na seção 3 é apresentada a metodologia utilizada, definida por Montevechi et al. (2007) e aplicada no objeto de estudo, o qual é explicado na seção 4. Por fim, na seção 5, apresentam-se as conclusões do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. LEAN HEALTHCARE

De acordo com Ohno (1997), o foco da produção enxuta é a eliminação ou a minimização dos desperdícios, ou seja, eliminar qualquer atividade que não agregue valor aos clientes ou usuários, mas que adiciona custo ao produto, seja na produção seja na comercialização. Assim, as atividades podem ser divididas em três grupos: atividades que agregam valor, atividades que não agregam valor e atividades que não agregam valor, mas são necessárias. Dentro dos princípios do *Lean*, Ohno (1997) classifica sete grandes desperdícios, sendo: superprodução, estoque, espera, transporte, movimentação, processo ineficiente ou desnecessário e processos defeituosos.

Esses são os conceitos do Lean Manufacturing, que quando aplicados em sistemas de saúde são chamados de *Lean Healthcare*. Os desperdícios citados anteriormente são adaptados para os ambientes hospitalares (BERTRANI, 2012; GRABAN, 2013) e são explicados de acordo com o Quadro 1:

2.2. SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

A simulação pode ser considerada a imitação de um sistema real, que é modelado em computador para posterior realização de experimentos para avaliar e melhorar o desempenho desse sistema (HARRELL et al., 2012). Também pode ser entendida como a criação e a observação de um sistema real ou hipotético para gerar inferências referentes a ele (BANKS et al., 2010). Essa técnica é extremamente versátil, podendo ser utilizada para investigar qualquer tipo de

Quadro 1. Comparação entre *Lean Manufacturing* e *Lean Healthcare*.

Desperdício	Manufatura	Serviços de saúde
Superprodução	Produção acima da capacidade de consumo da demanda. Ocorre por quantidade ou por antecipação.	Excesso de monitoramento em um paciente que não demanda tais cuidados.
Estoque	Armazenamento excessivo de bens. Prejudica o atendimento ao cliente, causando espera por informações e por produtos. Pode apresentar custos de transporte e de armazenagem e dano de materiais.	Resultados de exames aguardando processamento, pacientes em fila esperando pelo atendimento, materiais e medicamentos vencidos que devem ser descartados.
Espera	Longos períodos de inatividade, como espera por processo, lotes ou operador, resultando em longos <i>lead times</i> .	Espera do paciente por liberação do leito, resultado de exames, tratamentos ou alta hospitalar.
Transporte	Transporte desnecessários e/ou com excesso de bens e/ou informações, o que resulta aumento de custos, tempo e esforços.	Transporte excessivo de exames, medicamentos e pacientes que pode ser causado por Leiaute inadequado.
Movimentação	Movimentações em excesso e/ou desnecessárias dos funcionários no sistema. Incluem os esforços físicos durante o processo de fabricação.	Movimentação excessiva de médicos, enfermeiros e assistentes, em função dos postos de trabalho estarem mal organizados.
Processo ineficiente ou desnecessário	Procedimentos realizados de forma incorreta; não agregam valor para o cliente.	Utilização de medicamentos de forma ineficiente, carrinho cirúrgico com item faltante, pedidos de exames que não são necessários.
Processos defeituosos	Gerar produtos fora da especificação do cliente, seja na qualidade do produto seja no desempenho da entrega.	Realização de exames de forma inadequada, dados sobre horário/data afixados em formulários, mas nunca utilizados.

Fonte: adaptado de Bertrani (2012) e Graban (2013).

sistema estocástico. Tal versatilidade fez da simulação a técnica de pesquisa operacional mais utilizada para estudos que lidam com sistemas aleatórios (HILLIER; LIEBERMAN, 2001). Para Law (2015) e Bloomfield et al. (2012), a simulação é uma alternativa à experimentação direta no sistema real, evitando, assim, os custos em função da experimentação e da interrupção do fluxo de atividades do sistema real.

Entre as vantagens da simulação, destacam-se: as regras de decisão e a possibilidade de explorar os fluxos de informações e os procedimentos organizacionais explorados sem que ocorra a interrupção do sistema real; de testar os leiautes físicos e sistemas de transporte sem comprometer os recursos; de testar as hipóteses quanto à viabilidade de implementação; de expandir ou comprimir o tempo para a investigação dos fenômenos; de estudar a importância das variáveis para o desempenho do sistema e responder as perguntas do tipo “what-if” (“o que ocorre se”) (BANKS et al., 2010). Ou seja, além de prover visualização completa do sistema, a simulação permite que os tomadores de decisões possam visualizar os resultados antes mesmo de sua implementação (LAW, 2015).

2.3. LEAN HEALTHCARE E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

A integração da SED com o *Lean* em serviços de saúde auxilia na implementação dos conceitos enxutos em três grandes frentes: avaliar, facilitar e ensinar (ROBINSON et al., 2012). Assim, o uso da simulação e do *Lean Healthcare* em ambientes hospitalares pode trazer mais segurança, qualidade e eficiência para os pacientes e para a gerência (GABA, 2004). Além disso, esse uso pode otimizar o fluxo de pacientes e servir como fator motivacional para os funcionários (SALAM; KHAN, 2016). Swick et al. (2012) afirmam que hospitais que integram as duas ferramentas oferecem um método eficiente de planejamento estratégico e proporcionam aos funcionários uma visão privilegiada de como reduzir desperdícios e agregar valor. Ainda, é possível diminuir o tempo de espera dos pacientes, reduzindo a carga de trabalho dos funcionários e promovendo a realocação de recursos (BHAT; GIJO; JNANESH, 2014; HADDAD et al., 2016).

3. METODOLOGIA

A Modelagem e Simulação, técnica utilizada no estudo, pode ser dividida em três grandes fases: Concepção,

Implementação e Análise (MONTEVECHI et al., 2007). Na primeira grande fase, ou seja, a Concepção, a primeira etapa a ser realizada é a formulação do problema. Nessa etapa o processo a ser modelado é definido, para que as ações e objetivos possam ser especificados (BALCI, 2011). A segunda etapa é a construção e documentação do modelo conceitual, seguido pela validação do modelo. Muitas técnicas podem ser utilizadas para a documentação, porém, optar por uma técnica voltada para a simulação é o ideal (MONTEVECHI et al., 2007). A última etapa da Concepção é a modelagem dos dados de entrada, que podem ser tempo, custo, porcentagens, capacidades, entre outros, variando conforme o objetivo de cada estudo (BANKS et al., 2010; MONTEVECHI et al., 2007).

A segunda grande fase chamada de Implementação abrange as etapas de construção, verificação e validação do modelo computacional. A construção do modelo computacional deve ser realizada em um *software* com o qual o modelador apresenta familiaridade. Em seguida, é necessária a verificação, a qual garantirá que a programação do modelo computacional corresponde ao modelo conceitual (SARGENT, 2013). Por fim, a validação do modelo computacional pode ser realizada por meio de testes de hipóteses, intervalos de confiança, gráficos de comparação, entre outros (SARGENT, 2013).

A última grande fase, chamada de Análise, é iniciada no planejamento, na construção e na análise dos experimentos. Nessa fase é realizada a elaboração de possíveis cenários, além de utilizar planejamento de experimentos (DoE) e testes estatísticos (MONTGOMERY; RUNGER, 2018). Após os experimentos, os cenários são analisados, obtendo-se, assim, as conclusões e as respostas para o problema definido na etapa de Concepção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ESTUDO DE CASO

O HC atual consiste em 12 unidades de tenda, que são acopladas umas às outras, formando a estrutura do hospital. Estima-se que o HC seja capaz de atender entre 300 e 500 pacientes por dia. Para o atendimento, é necessário atentar para os diferentes tipos de pacientes, os quais podem

permanecer no hospital até 48 horas. Dessa forma, assume-se que os pacientes recebem os primeiros cuidados nas instalações do HC e, assim que possível, são encaminhados a unidades de saúde mais próximas.

Cada paciente que chega ao HC vai direto para a área de Triagem. Lá, os pacientes são avaliados quanto à sua condição inicial e registrados no hospital. Os pacientes são classificados quanto à gravidade dos ferimentos e então encaminhados para áreas específicas. Caso a gravidade do paciente seja considerada baixa, ele é encaminhado à área de pronto atendimento (PA) para cuidados superficiais, após os cuidados ele recebe alta. Caso a gravidade do paciente seja considerada média e houver necessidade de tratamento específico, como sutura, gesso, entre outros, ele é encaminhado à sala de emergência (SE), onde é conduzido para o setor apropriado. Por fim, caso a gravidade do paciente seja alta, ele é direcionado para a área específica de atendimento, que vai depender do tipo de atendimento necessário.

Pacientes com gravidade alta podem ser encaminhados para diversas áreas. Se o paciente estiver sofrendo de um ataque cardíaco ou de outra situação que requeira cuidados e monitoramento imediatos, o paciente será acompanhado para a unidade cardíaca (UC) ou para a enfermaria de cuidados extremos (ECE). Mulheres em trabalho de parto são encaminhadas para a maternidade (MA). Pacientes que necessitam de cuidados cirúrgicos são dirigidos para o setor pré-cirúrgico (PC) e após a cirurgia são conduzidos para o setor pós-operatório (PO) para recuperação. Pacientes que carecem de médicos especializados são encaminhados às enfermarias de cuidados mínimos (ECM) e às enfermarias de cuidados intermediários (ECI). Nesses casos, os pacientes pertencentes à ECM recebem alta após 24 horas, enquanto os pertencentes à ECI recebem alta após 48 horas de observação. Por fim, pacientes que são considerados graves, porém que não se enquadram nos casos descritos são encaminhados à sala de emergência (SE).

Vale ressaltar que todos os pacientes que estiverem nas áreas de atendimento específicas devem estar devidamente registrados. Caso houver inconsistências no registro, a equipe de admissão e alta (AA) é responsável por regularizar tal registro no próprio leito, assim como são realizados os exames laboratoriais. A seguir, são descritos os fluxos de cada área de atendimento específico para os casos de pacientes considerados graves:

- » UC e ECE: o paciente após chegar à UC ou à ECE recebe avaliação inicial feita pelo grupo de enfermeiras, em seguida é submetido à avaliação regular realizada por técnicos de enfermagem até que seja providenciada sua transferência para uma unidade de saúde com mais recursos. Tal transferência é realizada com apoio aéreo em função dos riscos a que o paciente nessa condição está exposto;
- » ECI: o fluxo do paciente nesse caso é semelhante ao fluxo da UC e da ECE, porém, ao fim de 24 horas o paciente é encaminhado para uma unidade de saúde mais próxima, com o auxílio de ambulância;
- » ECM: nesse caso, o fluxo também é semelhante ao fluxo da ECI, porém, ao fim de 48 horas o paciente pode ser encaminhado para uma unidade de saúde mais próxima, com o auxílio de ambulância (15% dos casos), ou recebe alta e retorna para casa (85% dos casos);
- » MA: a mulher em trabalho de parto é encaminhada a um leito disponível, onde será submetida a exames laboratoriais e também será realizado o registro das informações do bebê. Após o tempo de pré-parto, a mulher é encaminhada para a sala de parto e, após o parto, retorna para o leito para se recuperar, enquanto o bebê segue para o berço e aguarda o tempo de recuperação da mãe para ser levado ao encontro dela.
- » PC e Pós-operatório PO: antes da cirurgia, o paciente é submetido a exames laboratoriais e raio-X, então aguarda até o momento da cirurgia na área de PC. Em seguida, o paciente segue para a sala de cirurgia (SC), onde é submetido ao procedimento. No fim do procedimento é direcionado para a área de PO onde fica para se recuperar. Após esse período, ele pode ser encaminhado para as áreas ECM (50,16% dos casos), ECI (37,84% dos casos) e ICU (12% dos casos);
- » SE: o paciente, ao chegar na SE, aguarda em uma sala de espera até que seja realizada avaliação médica do seu estado. Após a avaliação, ele pode ser direcionado para a área de sutura (cerca de 10% dos casos), onde recebe alta após o procedimento. O paciente pode ainda ser direcionado para área de tratamento de mal-estar (55% dos casos) ou para área de tratamento de infecções (20% dos casos), de onde então é direcionado para a ECM. Por fim, o paciente pode ser encaminhado para área de tratamento psicológico (3% dos casos) ou para área de fratura (12% dos casos), onde é conduzido para a ECI.

4.2. CONCEPÇÃO

O estudo teve como objetivo analisar a estrutura de um HC e avaliar a capacidade do desse hospital quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais. Outras questões a serem resolvidas são: número ideal de funcionários e de equipamentos, leiaute mais adequado e aprimoramento do atendimento de pacientes de acordo com a capacidade de recursos humanos. A construção e documentação do processo pelo qual os pacientes passam (descrito na seção 4.1) foi realizada utilizando o IDEF-SIM (LEAL, 2008; MONTEVECHI et al., 2007). A Figura 1 mostra o modelo conceitual do sistema.

A validação da modelagem conceitual foi feita por meio da validação face a face, em que os especialistas verificam se o modelo de fato condiz com o sistema real. A coleta e a modelagem dos dados foram feitas segundo histórico proveniente de outros desastres naturais ocorridos no continente. Os dados históricos passaram por um tratamento de dados, no qual foram atreladas as melhores distribuições estatísticas.

4.3. IMPLEMENTAÇÃO

O modelo computacional foi construído no *software* FlexSim Healthcare®. Utilizou-se esse pacote em virtude da interface e da facilidade de programação em relação a serviços de saúde. O modelo foi verificado por especialistas.

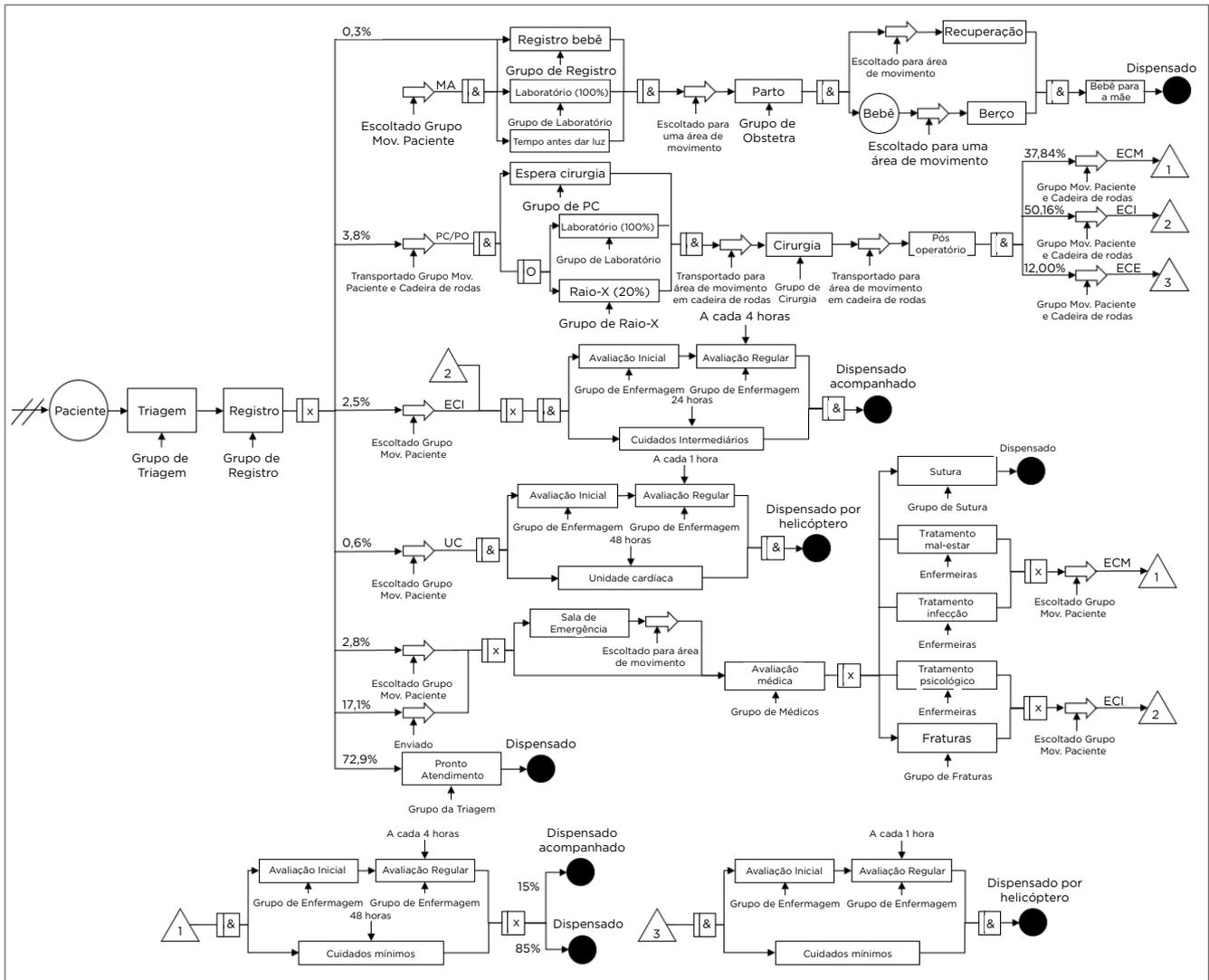


Figura 1. Modelagem conceitual do processo simulado.

Para a validação, o modelo foi simulado e validado por meio de dados históricos. A Figura 2 apresenta a tela do estado atual do modelo computacional.

4.4. ANÁLISE

Após o modelo ser validado e simulado por uma semana, foi possível obter as métricas para as primeiras análises. Dessa forma, pode-se afirmar que o hospital não tem capacidade de atender à demanda prevista. Assim, os resultados obtidos foram:

- » Na média, 2.855 pacientes chegaram no modelo;
- » Na média, 588 (20,6%) pacientes completaram todo o tratamento;
- » Cerca de 2.202 pacientes (77,01%) nem passaram pela triagem;
- » 65 pacientes (2,9%) começaram o tratamento, porém não terminaram.

Depois de algumas execuções, notou-se que os recursos humanos estavam significativamente ociosos, indicando que podem não ser uma característica limitante. O que pode ser dito também para as características do leiaute e para os tempos de transporte. Por outro lado, as áreas ECM, SE e triagem apresentaram-se ocupadas na maior parte do tempo. Além disso, identificou-se que há grande espera para atendimento nas áreas mencionadas.

No entanto, investigando as razões pelas quais os pacientes aguardam por atendimento, notou-se possível relação entre as áreas. Assim, quando totalmente ocupada, a ECM

bloqueia as áreas predecessoras, causando efeito sequencial que retorna à triagem. De fato, o número de leitos (19) de ECM é insuficiente no estado atual. Em média, 67,3 pacientes necessitam desses leitos por dia, e cada paciente permanece no local cerca de 48 horas. Assim, são necessários cerca de 135 leitos para satisfazer a demanda para esse tipo de paciente. No entanto, esse cálculo considera apenas a estimativa média, a qual não inclui a variabilidade do modelo.

4.4.1. Análise e experimentos para locais

Técnicas de DoE foram utilizadas para explorar as variáveis relacionadas ao número de locais (leitos, mesas e cadeiras) em cada área, uma vez que os recursos humanos e o leiaute não foram identificados como as características limitantes. As variáveis escolhidas são apresentadas na Tabela 1.

Os números de locais necessários foram estimados de forma determinística em relação à demanda para cada área usando a Equação 1. Os resultados foram arredondados para o próximo valor inteiro e também são apresentados na Tabela 1.

$$Q_i = \frac{P_i * t_i}{24h} \tag{1}$$

Em que:

Q_i = Número de locais da área i ;

Tabela 1. Variáveis relacionadas aos locais de cada área.

Variáveis	Atual	Necessário
Leitos (ECM)	19	135
Leitos (ECI)	13	28
Leitos (SC)	2	2
Leitos (ECE)	4	2
Leitos (UC)	3	2
Leitos (PC)	8	3
Leitos (SE)	5	2
Cadeiras de espera (SE)	8	16
Leitos para recuperação (MA)	4	1
Leitos para trabalho de parto	1	1
Leitos (Triagem)	23	5
Total	90	197



Figura 2. Tela do modelo computacional: estado atual

P_i = Média diária do número de pacientes que chegam à área i ;

t_i = Moda do tempo (em horas) que o paciente permanece na área i .

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1, optou-se por excluir as variáveis de leitos SC, UC e TP do DoE, uma vez que o número ideal necessário para esses locais é semelhante ao do cenário atual. Assim, as variáveis foram redefinidas como mostra a Tabela 2. Os pontos centrais foram definidos de acordo com o número ideal para cada local (Tabela 1). Utilizou-se margem de 20% dos pontos centrais para definir o “nível -” e o “nível +”. Os resultados foram arredondados para baixo e para cima, respectivamente. O número mínimo de locais foi estabelecido como um e eliminou-se a necessidade de recursos humanos nesses experimentos, uma vez que esses recursos se apresentaram ociosos nas primeiras execuções.

Um arranjo fatorial fracionário (fração de 1/8, resolução IV) foi realizado para triagem das variáveis significativas, resultando em 32 experimentos. De acordo com a Figura 1, há sete tipos de pacientes que seguem sete fluxos diferentes. Assim, a quantidade de pacientes atendidos por cada fluxo foi utilizada como parâmetro para o DoE. Após as análises e baseando-se nos gráficos de Pareto gerados para cada DoE, eliminou-se as variáveis B, F e G, posto que elas não foram significativas para o modelo.

Uma superfície de resposta foi definida por meio de do arranjo de experimento de face centrada (CFC), no qual os números de locais apresentam número mínimo, máximo e um ponto central. Utilizando esse arranjo, foi possível

obter 10 pontos centrais e 10 pontos axiais, o que resultou em mais 20 experimentos. Decidiu-se usar essa metodologia para testar os pontos médios de cada fator. A Figura 3 apresenta uma das superfícies analisadas, que corresponde às variáveis de decisão D (leitos PC) e E (leitos SE) e à resposta para o paciente que necessita de cuidados intermediários. Nesse caso, observa-se que há uma curvatura, indicando um ponto ótimo.

Para a otimização, utilizou-se abordagem multiobjetivo usando os metamodelos obtidos no DoE. Esses metamodelos foram aglutinados utilizando-se os critérios globais (RAO, 2009). Os pesos de cada função foram estabelecidos usando o método de polinômios canônicos de mistura (TORRES et al., 2016). Os valores ótimos das variáveis e os resultados da otimização para a simulação de uma semana são apresentados na Tabela 3. Os valores das variáveis B, F e G foram

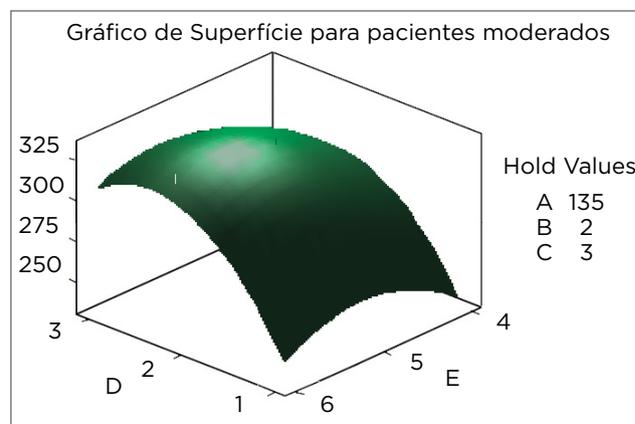


Figura 3. Superfície de resposta.

Tabela 2. Níveis das variáveis do *design* de experimentos (DoE) para os locais.

Variáveis	Descrição	Nível -	Ponto central	Nível +
A	Leitos (ECM)	108	135	162
B	Leitos (ECI)	22	28	34
C	Leitos (ECE)	1	2	3
D	Leitos (PC)	2	3	4
E	Leitos (SE)	1	2	3
F	Cadeiras de espera (SE)	12	16	20
G	Leitos para recuperação (MA)	1	2	3
H	Leitos (Triagem)	4	5	6

definidos como “nível-”, uma vez que não foram considerados significativos após a análise do DoE.

Após a definição do número ideal de locais, os resultados obtidos foram:

- » Na média, 2.855 pacientes chegaram no modelo;
- » Na média, 2.674 (93,7%) pacientes completaram todo o tratamento;
- » Todos os pacientes (100,0%) passaram pela triagem;
- » 181 pacientes (6,3%) começaram o tratamento, porém não terminaram.

Apesar das melhorias observadas após o experimento, nota-se que os pacientes ainda aguardam muito tempo para o atendimento, principalmente nas áreas SC, PC, SE e na triagem. Portanto, optou-se por aumentar o número de locais dessas áreas. Além disso, outros ajustes finais foram feitos, para os quais decidiu-se alterar as variáveis referentes aos leitos de ECI, ECE, MA e UC, conforme a Tabela 4.

4.4.2. Análise e experimentos para recursos

Com base nos resultados obtidos após os ajustes, foram testados os recursos humanos, conforme foram definidos no cenário atual. No entanto, mesmo depois de aumentar o número de locais, os funcionários ainda se encontraram ociosos. Dessa forma, decidiu-se analisar o impacto desses recursos por meio de da redução desses grupos por meio de novas rodadas de simulação. As mudanças foram feitas com base na taxa de ocupação dos recursos. Analisou-se um tipo de recurso por vez, começando pelos mais especializados.

Tabela 3. Valores ótimos para as variáveis de local.

Variáveis	Descrição	Valor Ótimo
A	Leitos (ECM)	152
B	Leitos (ECI)	22
C	Leitos (ECE)	3
D	Leitos (PC)	3
E	Leitos (SE)	2
F	Cadeiras de espera (SE)	12
G	Leitos para recuperação (MA)	1
H	Leitos (Triagem)	5

Após alguns ciclos, as mudanças foram resumidas e são apresentadas na Tabela 5.

Após a definição do número ideal de recursos e o modelo ser novamente simulado por uma semana, pode-se observar:

- » Na média, 2.855 pacientes chegaram no modelo;
- » Na média, 2.673 (93,6%) pacientes completaram todo o tratamento;

Tabela 4. Quantidade de locais no cenário atual e no futuro.

Leitos e cadeiras	Cenários	
	Atual	Futuro
Leitos (triagem)	23	15
Leitos para recuperação (MA)	4	2
Cadeiras de espera (SE)	8	12
Leitos (SE)	5	4
Leitos (PC)	8	5
Leitos (SC)	2	3
Leitos (ECE)	4	4
Leitos (UC)	3	5
Leitos (ECI)	13	33
Leitos (ECM)	19	152
Total	90	236

Tabela 5. Quantidade de recursos humanos no cenário atual e no futuro.

Recursos humanos	Cenários	
	Atual	Futuro
Médicos	5	4
Assistentes	2	2
Enfermeiras	26	15
Técnicos de enfermagem	12	1
Técnicos cirúrgicos	2	2
Técnicos de raio X	2	1
Técnicos de laboratório	3	1
Técnicos de suporte	8	1
Técnicos administrativos	3	3
Total	63	30

- » Todos os pacientes (100,0%) passaram pela triagem;
- » 182 pacientes (6,3%) começaram o tratamento, porém não terminaram.

4.4.3. Experimentos de confirmação

Para confirmar as modificações propostas, o modelo foi simulado 30 vezes por uma semana. De acordo com os dados observados na Tabela 4, o número total de locais aumentou em 162,0%, mas, como mostrado na Tabela 5, o número total de recursos humanos foi reduzido em 52,4%.

De acordo com os resultados da simulação, para os locais é necessário aumento de cadeiras de espera na SE (50,0%) e de leitos na SC (50,0%), na UC (66,7%), na ECI (153,8%) e na ECM (700,0%). Entretanto, para leitos na triagem, na MA, na SE e no PC houve necessidade de redução em 34,8, 50, 20 e 37,5%, respectivamente. Em relação à ECE, não houve necessidade de alterações. Quanto aos recursos humanos, não foram necessárias alterações para assistentes, técnicos cirúrgicos e técnicos administrativos. Para os demais recursos, houve redução de 20,0% para médicos, 42,3% para enfermeiras, 91,6% para técnicos de enfermagem, 50,0% para técnicos de raio X, 66,7% para técnicos de laboratório e 87,5% para técnicos de suporte.

Para a comparação final do estado atual com o estado futuro, além das métricas mencionadas anteriormente, foi incluído o tempo de espera de cada tipo de paciente. A Tabela 6

apresenta os resultados do cenário atual e do cenário futuro, ilustrando que houve redução do tempo de permanência do paciente durante o procedimento (min).

A Figura 4 mostra o leiaute para o estado futuro do HC.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo usar a integração da SED com conceitos enxutos em um ambiente hospitalar. Para isso, o objeto de estudo escolhido foi um hospital de campo, sobre o qual se objetivou analisar a estrutura e



Figura 4. Tela do modelo computacional: estado futuro.

Tabela 6. Saídas para os cenários atual e futuro.

Saídas	Cenários	
	Atual	Futuro
Tempo de permanência mulheres grávidas (MA)	0,2	13,1
Tempo de permanência pacientes cirúrgicos (PO)	5023,6	77
Tempo de permanência pacientes com gravidade mínima (ECM)	2073,4	22,9
Tempo de permanência pacientes cardíacos (UC)	3140,5	12,5
Tempo de permanência pacientes com gravidade alta (ECE)	5019,2	58,3
Tempo de permanência pacientes com gravidade intermediária (ECI)	5525,2	58,2
Tempo de permanência pacientes do pronto atendimento (PA)	2431,2	2,8
Total de pacientes atendidos	588	2673
Total de locais	90	236
Total de recursos humanos	63	30

avaliar a capacidade desse hospital quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais.

A metodologia para condução de projetos de Simulação de Eventos Discretos definida por Montevechi et al. (2007) foi utilizada no estudo, a qual baseia-se em três grandes fases: Concepção, Implementação e Análise. Na fase de Concepção os objetivos foram definidos, sendo: número ideal de funcionários e de equipamentos; leiaute mais adequado e aprimoramento do atendimento de pacientes de acordo com a capacidade de recursos humanos. O modelo conceitual foi construído utilizando-se a técnica de modelagem IDEF-SIM, e os dados de entradas foram obtidos por meio de dados históricos provenientes de outras situações em que um hospital de campo foi necessário. Na fase de Implementação, o modelo foi simulado no *software* FlexSim Healthcare® e validado também por meio de dados históricos.

Para a fase de Análise, utilizou-se o DoE a fim de verificar as variáveis que mais sofreram influência nos locais em expansão. Experimentos foram utilizados para determinar o número ideal de recursos humanos. Dessa forma, pode-se afirmar que o modelo em seu estado atual não tem capacidade para atender à demanda requerida. Apesar disso, o modelo proposto fornece suporte adequado para essa necessidade, uma vez que melhorou o atendimento à demanda de 20,6% para 93,6%. Todas as questões propostas no objetivo foram respondidas e, utilizando-se os princípios do *Lean*, houve significativa melhora no processo estudado.

Em relação às limitações deste estudo, foram encontradas dificuldades na execução das réplicas em função do esforço computacional requerido. Por essa razão, apenas uma réplica foi executada no modelo de estado atual. Além disso, foi escolhido o tempo de permanência dos pacientes como medida de desempenho do HC, uma vez que é a métrica mais crítica do ponto de vista do paciente. Entretanto ter uma alta saída de pacientes não significa necessariamente que eles estejam sendo tratados adequadamente. Isso porque a chegada de pacientes é irregular e o tempo de espera pode ser alto.

Por fim, para trabalhos futuros, sugere-se testar diferentes leiautes a fim de avaliar o deslocamento dos pacientes, os recursos humanos e os equipamentos. Além disso, sugere-se utilizar o planejamento de experimentos para avaliar e otimizar a quantidade de recursos humanos e avaliar se há influência nas interações desses recursos com as diferentes mudanças a serem realizadas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e à FlexSim o apoio dado a esta e a outras pesquisas. Os autores ainda agradecem à SHS/FlexSim Model Building Competition o segundo lugar adquirido com o caso apresentado.

REFERÊNCIAS

BABASHOV, V.; AIVAS, I.; BEGEN, M.A.; CAO, J.Q.; RODRIGUES, G.; D'SOUZA, D.; LOCK, M.; ZARIC, G. S. Reducing Patient Waiting Times for Radiation Therapy and Improving the Treatment Planning Process: a Discrete-event Simulation Model (Radiation Treatment Planning). *Clinical Oncology*, v. 29, n. 6, p. 385-391, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.clon.2017.01.039>

BALCI, O. How to successfully conduct large-scale modeling and simulation projects. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2011. *Anais [...]*. Phoenix, 2011.

BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L.; NICOL, D.M. *Discrete-event Simulation*. 5. ed. Nova Jersey: Pearson Prentice-Hall, 2010. 622 p.

BARIL, C.; GASCON, V.; MILER, J.; BOUNHOL, C. The importance of considering resource's tasks when modeling healthcare services with discrete-event simulation: An approach using work sampling method. *Journal of Simulation*, v. 11, n. 2, p. 103-114, 2017. <https://doi.org/10.1057/jos.2016.6>

BERTRANI, T.M. *Lean Healthcare: recommendations for implementations of the concepts of Lean Production in hospital environments*. 166f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

BHAT, S.; GIJO, E.V.; JNANESH, N.A. Application of Lean Six Sigma methodology in the registration process of a hospital. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 63, n. 5, p. 613-643, 2014. <https://dx.doi.org/10.1108/IJPPM-11-2013-0191>

- BLOOMFIELD, R.; MAZHARI, E.; HAWKINS, J.; SON, Y.J. Interoperability of manufacturing applications using the Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) standard information model. *Computer & Industrial Engineering*, v. 62, n. 4, p. 1065-1079, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.12.034>
- BRAILSFORD, S.C.; HARPER, P.R.; PATEL, B.; PITT, M. An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care. *Journal of Simulation*, v. 3, n. 3, p. 130-140, 2009. <https://doi.org/10.1057/jos.2009.10>
- CHENG, R.; DRIVE, E.; RABE, M. Simulation: the Past 10 Years and the Next 10 Years. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2016. *Anais [...]*. Washington, D.C., 2016.
- DOGAN, N.O.; UNUTULMAZ, O. Lean production in healthcare: a simulation-based value stream mapping in the physical therapy and rehabilitation department of a public hospital. *Total Quality Management & Business Excellence*, v. 27, n. 1-2, p. 64-80, 2014. <https://doi.org/10.1080/14783363.2014.945312>
- FILSER, L.D.; SILVA, F.F.; OLIVEIRA, O.J. State of research and future research tendencies in lean healthcare: a bibliometric analysis. *Scientometrics*, v. 112, n. 2, p. 799-816, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2409-8>
- GABA, D. The future vision of simulation in health care. *Quality and Safety in Health Care*, v. 13, Supl. 1, p. 2-10, 2004. https://doi.org/10.1136/qhc.13.suppl_1.i2
- GRABAN, M. *Hospitals Lean: melhorando a qualidade, a segurança dos pacientes e o envolvimento dos funcionários*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 312 p.
- HADDAD, M.G.; ZOUEN, P.P.; SALEM, J.; OTAYEK, R. Case Study of Lean in Hospital Admissions to Inspire Culture Change. *Engineering Management Journal*, v. 28, n. 4, p. 209-223, 2016. <https://doi.org/10.1080/10429247.2016.1234896>
- HARRELL, C.; GHOSH, B.K.; BOWDEN, R. *Simulation using ProModel*. 3. ed. Nova York: McGraw-Hill Education, 2012. 704 p.
- HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. *Introduction to operations research*. 7. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2001. 976 p.
- HUANG, Y.; KLASSEN, K.J. Using six sigma, lean, and simulation to improve the phlebotomy process. *Quality Management Journal*, v. 23, n. 2, p. 6-21, 2016. <https://doi.org/10.1080/10686967.2016.11918468>
- HUSSEIN, N.A.; ABDELMAGUID, T.F.; TAWFIK, B.S.; AHMED, N.G.S. Mitigating overcrowding in emergency departments using Six Sigma and simulation: A case study in Egypt. *Operations Research for Health Care*, v. 15, p. 1-12, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.06.003>
- LAW, A. *Simulation modeling and analysis*. 5. ed. Boston: McGraw-Hill Education, 2015. 804 p.
- LEAL, F. *Análise do efeito de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados*. 237f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, 2008.
- MONTEVECHI, J.A.B.; PINHO, A.F.; LEAL, F.; MARINS, F.A.S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2007. *Anais [...]*, Washington, D.C., 2007.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2018. 976 p.
- OHNO, T. *O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em massa*. Porto Alegre: Bookman, 1997. 150 p.
- RAGHAVAN, V.A.; VENKATADRI, V.; KESAVAKUMARAN, V.; WANG S.; KHASAWNEH, M.; SRIHARI, K. Reengineering the Cardiac Catheterization Lab processes: A lean approach. *Journal of Healthcare Engineering*, v. 1, n. 1, p. 45-65, 2010.
- RAO, S.S. *Engineering Optimization: Theory and Practice*. 4. ed. Nova Jersey: John Wiley, 2009. 813 p.
- ROBINSON, S.; RADNOR, Z.J.; BURGESS, N.; WORTHINGTON, C. SimLean: Utilising Simulation in the Implementation of Lean in Healthcare. *European Journal of Operational Research*, v. 219, n. 1, p. 188-197, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.12.029>
- SALAM, M.A.; KHAN, S.A. Value creation through lean management: a case study of healthcare service operations. *International Journal of Services and Operations Management*, v. 25, n. 3, p. 275-293, 2016. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2016.10000239>
- SARGENT, R.G. Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, v. 7, n. 1, p. 12-24, 2013. <https://doi.org/10.1057/jos.2012.20>
- SWICK, M.; DOULAVERIS, P.; BAGNALL, T.; WOMACK, D. Application of Simulation Technology to Enhance the Role of the Professional Nurse. *The Journal of Nursing Administration*, v. 42, n. 2, p. 95-102, 2012. <https://doi.org/10.1097/NNA.0b013e3182433706>
- TORRES, A.F.; GOMES, J.H.F.; CAMPOS, P.; PAIVA, A.P. Otimização multiobjetivo com identificação de pesos ótimos: aplicação em um processo de torneamento de aço endurecido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 48., 2016. *Anais [...]*. Vitória, 2016.
- URIARTE, A.G.; ZÚÑIGA, E.R.; MORIS, M.U.; NG, A.H.C. How can decision makers be supported in the improvement of an emergency department? A simulation, optimization and data mining approach. *Operations Research for Health Care*, v. 15, p. 102-122, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.10.003>
- WANG, T.; YANG, T.; YANG, C.; CHAN, F.T.S. Lean principles and simulation optimization for emergency department layout design. *Industrial Management and Data Systems*, v. 115, n. 4, p. 678-699, 2015. <https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2014-0296>
- YANG, T.; WANG, T.; LI, V.C.; SU, C.L. The Optimization of Total Laboratory Automation by Simulation of a Pull-Strategy. *Journal of Medical Systems*, v. 39, n. 1, p. 162, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10916-014-0162-6>

CALIBRAÇÃO E MODELAGEM EM ELEMENTOS FINITOS DA COMPACTAÇÃO DE PZT USANDO O MODELO DRUCKER-PRAGER/CAP

Calibration and modeling in finite elements of PZT compaction using the Drucker-Prager/cap model

Mateus M. Morais¹, Caiuã C. Melo², Rodrigo B. Canto³, Carlos A. Fortulan⁴

Resumo: O projeto de moldes de peças cerâmicas com geometrias complexas apresenta desafios quanto à previsibilidade da dimensão e da densidade da peça compactada. Tal dificuldade pode ser contornada pelo uso de simulação computacional por meio do método dos elementos finitos. O modelo constitutivo Drucker-Prager/cap, usado em simulações de materiais em pó, utiliza curva de encruamento que relaciona a compressão hidrostática e a respectiva deformação plástica volumétrica. Para calibrar essa curva, discos de dois lotes de pós de cerâmica PZT foram pré-conformados uniaxialmente e, em seguida, foram prensados isostaticamente em sete patamares de pressão variando de 20 a 200 MPa. Foi realizada a validação do modelo por meio de comparação entre simulação de elementos finitos no software ABAQUS e medidas experimentais, resultando em diferenças máximas de 3,4% na dimensão e 0,2% na densidade das peças compactadas. Em função da boa aproximação dos resultados, o modelo calibrado poderá ser aplicado em geometrias complexas.

Palavras-chave: Elementos finitos. Titanato zirconato de chumbo. Prensagem de pó.

Abstract: The design of molds for ceramic parts with complex geometries presents challenges in predicting the dimensions and density of the compacted part. Such difficulty can be overcome by using computer simulation with the finite element method. The Drucker-Prager/cap constitutive model, used in simulations of powder materials, has a hardening curve that relates the hydrostatic pressure and the respective volumetric plastic strain. In order to calibrate the hardening curve, disks of two batches of ceramic PZT powder were uniaxially pressed and then isostatically pressed at seven pressure stages varying from 20 to 200 MPa. Model validation was performed by comparing finite element simulation in ABAQUS software and experimental measurements, resulting in maximum differences of 3.4% in dimension and 0.2% in density of compacted parts. Due to the great similarity of the results, the calibrated model may be applied to more complex geometries.

Keywords: Finite elements. Lead zirconate titanate. Powder pressing.

1. Mestre em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Doutorando em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - São Carlos, SP - Brasil. E-mail: mateus.morais@usp.br

2. Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos. Doutorando em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos - São Carlos, SP - Brasil. E-mail: caiua.caldeira@gmail.com

3. Doutor em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo e École Normale Supérieure de Paris. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos - São Carlos, SP - Brasil. E-mail: rbcanto@ufscar.br

4. Doutor em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - São Carlos, SP - Brasil. E-mail: fortulan@usp.br

1. INTRODUÇÃO

O projeto de moldes para prensagem de peças cerâmicas com geometrias complexas não é simples, especialmente em aplicações que exigem geometria precisa e densidade homogênea, como hidrofones e outros tipos de sensores e atuadores piezoelétricos. O projeto de moldes por tentativa e erro pode ser muito oneroso e ineficiente. Nesse contexto, a simulação numérica utilizando o método dos elementos finitos (MEF) é uma ferramenta útil, pois permite melhor previsão da dimensão da peça após a prensagem, assim como análise da distribuição de densidade na peça, evidenciando regiões críticas mais suscetíveis a trincas ou geradoras de deformações durante a sinterização, o que possibilita obter uma peça de mais qualidade com menos iterações (MORAIS et al., 2016; CUNNINGHAM; LAMARCHE; ZAVALIANGOS, 2017).

Para realizar a simulação, é necessário identificar um modelo constitutivo para cada material envolvido na prensagem e calibrar os parâmetros desses modelos experimentalmente (MORAIS et al., 2016). Para a simulação de pós-cerâmicos, como o PZT, o modelo Drucker-Prager/cap é adequado, uma vez que é utilizado em simulações de compactação de materiais granulados, como solos, pós de comprimidos farmacêuticos e pós metálicos (HAN et al., 2008; DASSAULT SYSTÈMES, 2014; ZHOU, 2017). O modelo é definido por três superfícies: A superfície de Drucker-Prager, que define o escoamento em função do cisalhamento, a superfície *cap* que modela um mecanismo de encruamento inelástico, representando a natureza plástica da compactação, e uma superfície de transição que une suavemente os dois segmentos anteriores para facilitar a implementação numérica. As equações que definem essas superfícies são funções da tensão equivalente de Von Mises q e da tensão normal média p (DASSAULT SYSTÈMES, 2014). Na Figura 1, é ilustrado o modelo Drucker-Prager/cap no diagrama q vs. p .

Além das constantes que determinam cada uma das três superfícies, é preciso obter experimentalmente a curva de encruamento da superfície *cap* que relaciona a tensão de compressão hidrostática de escoamento p_b e à respectiva deformação plástica volumétrica ε_{vol}^{pl} (HAN et al., 2008; MELO et al., 2018).

O objetivo deste trabalho é descrever a calibração experimental da curva de encruamento do modelo de *Drucker-Prager/cap* de dois lotes de PZT e validar esse modelo por meio da simulação de elementos finitos no software ABAQUS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para os ensaios de compactação, foram preparados dois lotes de PZT (do fabricante *Sparkler Piezoceramic Powder*, grade: SP-4, sem ligante) adicionando-se 0,8% em peso de Polivinil butiral (PVB) como ligante. Ambos lotes (denominados A e B) foram moídos por 24 horas em um moinho de bolas. O lote B foi posteriormente moído por 96 horas em um moinho vibratório. O lote A é composto de 50% em peso de partículas menores que 3,1 μm , enquanto, para o lote B, esse valor é de 0,85 μm .

O ensaio de prensagem isostática foi utilizado para calibrar o encruamento (*hardening*) do modelo constitutivo do PZT. Cada lote de pó foi pré-conformado uniaxialmente em um molde de 41 mm de diâmetro com tensão axial de 10 MPa e, em seguida, foi prensado isostaticamente nas seguintes pressões: 20, 40, 60, 80, 120, 160 e 200 MPa. Após cada estágio de prensagem, as dimensões das pastilhas foram medidas, e a densidade foi calculada utilizando-se a massa inicial de cada pastilha. A relação entre a pressão e a deformação plástica volumétrica macroscópica foi ajustada por uma relação exponencial. Os demais parâmetros necessários à simulação foram adotados com base em literatura sobre alumina (MELO et al., 2018). Apesar de terem sido obtidos de outro material cerâmico, esses dados têm menor influência no resultado da simulação da prensagem isostática, em relação à curva de encruamento.

Para validação, foi realizada a simulação do ensaio de compactação dos lotes A e B no *solver standard* do software ABAQUS. Em virtude da simetria axial do problema, a modelagem é representada em duas dimensões por meio da superfície de revolução

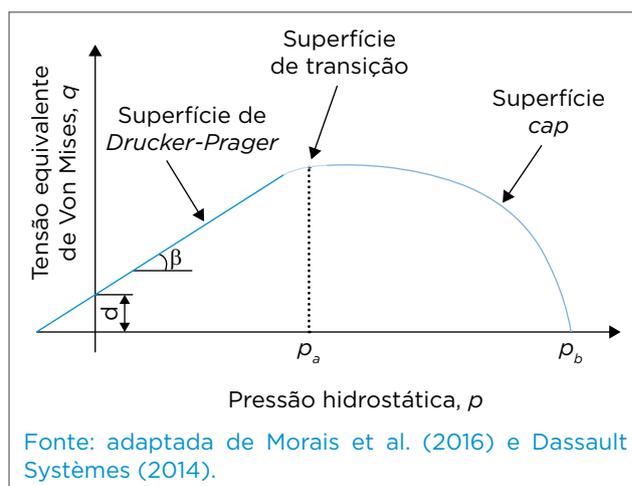


Figura 1. Modelo Drucker-Prager/cap.

da seção transversal da pastilha. A malha foi constituída de elementos contínuos quadrilaterais axissimétricos de primeira ordem com integração reduzida (CAX4R). As paredes do molde e as superfícies dos pistões foram modeladas como superfícies rígidas, com modelo de contato com coeficiente de atrito de 0,3. As etapas da simulação estão esquematizadas na Figura 2.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Na Figura 3 é apresentado o perfil de densidade da seção axissimétrica da pastilha do lote B obtido na simulação. Na Tabela 1 é apresentada a comparação entre as dimensões e as densidades medidas no ensaio de compactação

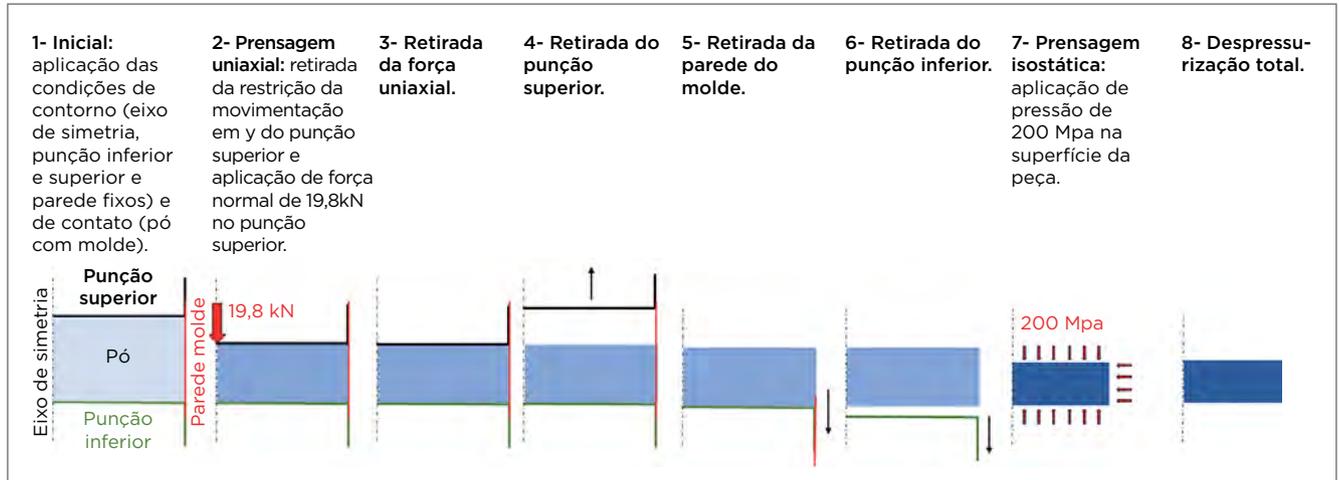


Figura 2. Etapas da simulação de elementos finitos.

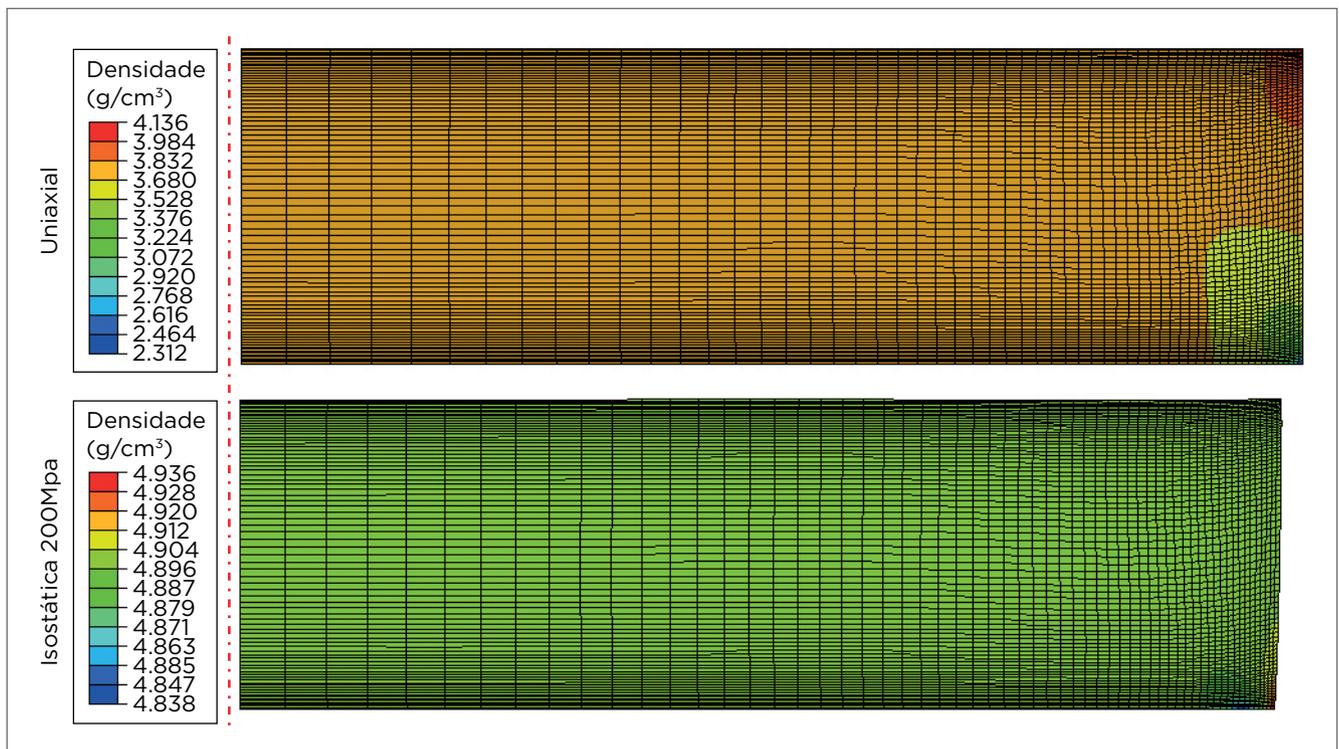


Figura 3. Perfis de densidade da seção transversal axissimétrica do modelo da pastilha do lote B simulada por elementos finitos da etapa de prensagem uniaxial e isostática. Eixo de simetria axial em vermelho.

Tabela 1. Comparação entre dados da simulação computacional e dos ensaios experimentais nos lotes A e B, após a prensagem isostática final (200 MPa).

	Lote A			Lote B		
	Experimental	Simulação computacional	Diferença (%)	Experimental	Simulação computacional	Diferença (%)
Altura (mm)	6,3	6,4	1,6	5,8	5,6	-3,4
Diâmetro (mm)	38,4	38,5	0,3	36,6	37,3	-0,8
Densidade (g/cm ³)	5,20	5,19	-0,2	4,91	4,92	0,2

e os valores obtidos pela simulação. A granulometria dos pós influenciou na compactação das peças, o que é evidenciado pelas densidades distintas entre os lotes. Essa metodologia de calibração apresentou ótima aproximação entre os resultados experimentais e numéricos nessa geometria simples. Em virtude desse resultado favorável, o modelo calibrado pode ser utilizado de forma preliminar em trabalhos futuros para simular geometrias mais complexas, como hidrofones ou outros tipos de sensores e atuadores de PZT. Os resultados poderão ser aprimorados por meio

de outros ensaios mecânicos para calibrar os demais parâmetros do modelo constitutivo.

Agradecemos às agências financiadoras Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (processos nº 2018/07928-2 e 2018/02801-4) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo nº 131685/2018-0). As opiniões, hipóteses, conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade dos autores e não necessariamente refletem a visão dessas agências.

REFERÊNCIAS

CUNNINGHAM, J.; LAMARCHE, K.; ZAVALIANGOS, A. Modeling of powder compaction with the drucker-prager cap model. *In*: PANDEY, P.; BHARADWAJ, R. (orgs.). Predictive Modeling of Pharmaceutical Unit Operations. Cambridge Woodhead Publishing, 2017. p. 205-227.

DASSAULT SYSTÈMES. Abaqus 6.14 Online Documentation - Abaqus Analysis User's Guide. Dassault Systèmes, 2014.

HAN, L.H.; ELLIOTT, J.A.; BENTHAM, A.C.; MILLS, A.; AMIDON, G.E.; HANCOCK, B.C. A Modified Drucker-Prager Cap Model for Die Compaction Simulation of Pharmaceutical Powders. *International Journal of Solids and Structures*, v. 45, n. 10, p. 3088-3106, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jisolsolstr.2008.01.024>

MELO, C. C.; MORAES, A.L.I.; ROCCO, F.O.; MONTILHA, F.S.; CANTO, R.B. A Validation Procedure for Numerical Models of Ceramic Powder Pressing. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 38, n. 8, p. 2928-2936, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.01.009>

MORAIS, M.M.; FORTULAN, C.A.; PURQUERIO, B.M.; PEDROSO, M.P.G. Modelagem da densificação de esferas cerâmicas verdes prensadas isostaticamente. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 60., 2016, Águas de Lindoia. Anais [...]. Águas de Lindoia, 2016.

ZHOU, M.; HUANG, S.; HU, J.; LEI, Y.; XIAO, Y.; LI, B.; YAN, S.; ZOU, F. A Density-Dependent Modified Drucker-Prager Cap Model for Die Compaction of Ag57.6-Cu22.4-Sn10-In10 Mixed Metal Powders. *Powder Technology*, v. 305, p. 183-196, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.09.061>

EFEITO DE ADITIVOS NO PREPARO DE MEMBRANAS VISANDO O USO EM CONTACTORES GÁS-LÍQUIDO

Effect of additives on the preparation of membranes for use in gas-liquid contactors

Gustavo Hidetaka Hashimoto¹, Cristina Cardoso Pereira², Felipe Brandão de Souza Mendes³, Cristiano Piacsek Borges⁴, Ana Paula Santiago De Falco⁵

Resumo: Membranas como contactores gás-líquido têm sido utilizadas como alternativa aos processos convencionais de separação de gases, pois promovem elevada área de contato, assim como evitam o contato direto entre as fases e consequentes problemas operacionais, como a formação de espumas. Este trabalho visa avaliar o efeito de aditivos no preparo de membranas de poli(fluoreto de vinilideno) (PVDF). Foram utilizados como aditivos ácido adípico (AD), carvão ativado (CA) e água, em diferentes concentrações. Os resultados de velocidade de precipitação indicam que a maior concentração de AD provavelmente promoveu aumento na viscosidade da solução, dificultando a entrada de não-solvente na solução polimérica, levando à precipitação mais lenta da solução polimérica. As morfologias das membranas obtidas e os resultados de permeação de gás e ângulo de contato também mostram que as membranas apresentam valores de permeabilidade e hidrofobicidade adequados para uso nos processos de contactores com membranas.

Palavras-chave: Contactores com membranas. Separação gás-líquido. Fibras ocas de poli(fluoreto de vinilideno).

Abstract: Gas liquid membrane contactors have been applied as an alternative to traditional gas separation processes due to the large interfacial area, avoiding direct contact between phases, which leads to operational problems such as foaming. This work aims to evaluate the effect of additives in the formation of polyvinylidene fluoride membranes (PVDF). Adipic acid (AD), activated carbon (AC) and water were used as additives in different concentrations. The results of precipitation velocity indicated that the higher AD concentration has probably provided viscosity increase, which inhibits non-solvent inflow to polymer solution, leading to precipitation delay. Membrane morphologies, gas permeation and contact angle results have pointed out that the membranes present adequate permeability and hydrophobicity for use in membrane contactors processes.

Keywords: Membranes contactors. Gas-liquid separation. polyvinylidene fluoride membranes hollow fibers.

1. Graduando em Engenharia Química pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: gustavo.hashimoto97@gmail.com

2. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pesquisadora do Laboratório de Processos com Membranas da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: cristina@peq.coppe.ufrj.br

3. Mestre em Engenharia de Nanotecnologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Encarregado da Divisão de Processos Químicos do Instituto de Pesquisas da Marinha - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: felipe.mendes@marinha.mil.br

4. Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professor Associado da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: cristiano@peq.coppe.ufrj.br

5. Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros pelo Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Encarregada do Grupo de Tecnologia de Materiais do Instituto de Pesquisas da Marinha - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: ana.falco@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

A remoção de dióxido de carbono (CO_2) de correntes gasosas é atrativa, pois, além de ser um dos gases responsáveis pelo efeito estufa, sua presença pode causar corrosão dos dutos que o transportam e reduzir o poder calorífico do gás natural. Os processos convencionais utilizados na remoção de CO_2 incluem absorção com aminas e criogenia. Embora esses processos sejam amplamente utilizados, apresentam uma série de desvantagens, como alto custo e operação complexa. Os processos de separação com membranas (PSM) vêm recebendo grande destaque, pois exibem vantagens que os permitem competir com os processos tradicionais (ZHANG, WANG, 2014).

No caso do processo de contactores, as membranas não atuam como barreiras seletivas como ocorre nos PSM tradicionais. As membranas são colocadas entre duas fases, como gasosa e líquida, o que promove ampla área de contato para transferência de massa, sem dispersão entre as fases. O uso de membranas torna a área interfacial conhecida e constante, permitindo determinar seu desempenho com maior facilidade quando comparado a outros processos como a coluna de bolhas.

O poli(flúoreto de vinilideno) (PVDF) é um polímero de interesse no preparo de membranas como contactores gás-líquido, em função de sua hidrofobicidade e resistência química. Neste trabalho, investiga-se a influência de aditivos na formação de membranas de PVDF para o preparo de fibras ocas e para o uso dessas membranas em contactores gás-líquido, visando à remoção de CO_2 de correntes gasosas (KANG, CAO, 2014).

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As membranas de PVDF (Kynar 740, Arkema) foram obtidas pelo processo de inversão de fases por imersão – precipitação, por meio de soluções de PVDF, 17% m/m, e metil-2-pirrolidona (NMP) como solvente. Foram utilizados ácido adípico (AD), carvão ativado (CA) e água destilada como aditivos nas soluções poliméricas. NMP e CA foram adquiridos da Isofar. O ácido adípico foi adquirido da Riedel-de-Haen. As concentrações de AD variaram de 5 a 10% m/m. O CA foi adicionado a 1% da massa de polímero na solução polimérica, enquanto a concentração de água destilada variou de 0,5 a 1,0% m/m.

As soluções poliméricas com diferentes aditivos foram utilizadas no preparo de membranas planas para melhor elucidação do processo de inversão de fases. Posteriormente, uma das condições foi selecionada para preparo da membrana na forma de fibra oca. Foram realizados testes de transmitância de luz para verificação da velocidade de precipitação das soluções poliméricas. As soluções foram espalhadas sobre placas de vidro e então imersas no banho de não-solvente. Em seguida, foram coletados os dados de decréscimo de transmitância de luz com o tempo, com o uso de um registrador. As membranas obtidas foram avaliadas por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) (FEI Company), medidas de ângulo de contato (Dataphysics) e permeabilidade gasosa.

3. RESULTADOS

As Figuras 1A e 1B apresentam os resultados dos testes de transmitância de luz, feitos para investigar o efeito da variação da concentração de aditivo e da temperatura na velocidade de precipitação da solução polimérica, respectivamente. A Figura 2 apresenta o efeito da concentração de água e de carvão na solução.

Comparando as soluções poliméricas contendo 5% m/m de AD, observa-se que o aumento da temperatura aumentou o tempo para início da precipitação, indicando que tal aumento tornou a solução polimérica mais estável. O preparo de soluções poliméricas com maior concentração de AD somente foi possível com o aumento da temperatura. Esse resultado indica que o aumento da concentração de AD leva à instabilidade da solução polimérica e, conseqüentemente, à separação de fases. Esse resultado é confirmado observando-se que a velocidade de precipitação da solução de 7% m/m é mais rápida do que a da solução de AD a 5% m/m. No caso da solução contendo AD 10% m/m, observa-se tempo maior para o início da precipitação da solução polimérica, o que provavelmente se deve ao aumento na viscosidade da solução polimérica, dificultando a entrada de não-solvente do banho (água) na solução polimérica.

As soluções contendo 5% de AD com 1% de água e 5% de AD com 1% de carvão apresentaram velocidades de precipitação mais rápidas entre as membranas investigadas, em função da aproximação das soluções à região de separação de fases. As fotomicrografias apresentadas na Figura 3 mostram que as morfologias obtidas estão de acordo com os resultados

de velocidade de precipitação, indicando que a precipitação mais rápida na interface da solução polimérica com o banho de precipitação proporciona resistência à transferência de massa, o que leva ao aumento de macroporos na subcamada. Esse efeito também é observado por meio da seção transversal da fibra oca, em que a imersão no banho de água promove o aumento dos macroporos de fora para dentro da fibra. A Figura 4 mostra que as soluções contendo AD à temperatura ambiente e adição de água e CA proporcionaram aumento da velocidade de precipitação suficiente para gerar uma subcamada com macroporos regulares.

Os resultados de permeação de nitrogênio apresentaram valor médio de $1,5 \times 10^5$ GPU e ângulo de contato de 78° , para as fibras contendo apenas AD como aditivo.

4. CONCLUSÕES

O efeito dos aditivos foi evidente nos testes de velocidade de precipitação das soluções poliméricas. As morfologias obtidas e os resultados de permeação de gás e ângulo de contato também mostram que as membranas apresentam valores de permeabilidade e hidrofobicidade adequados para uso em contactores.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico o apoio financeiro e a bolsa de Gustavo Hashimoto.

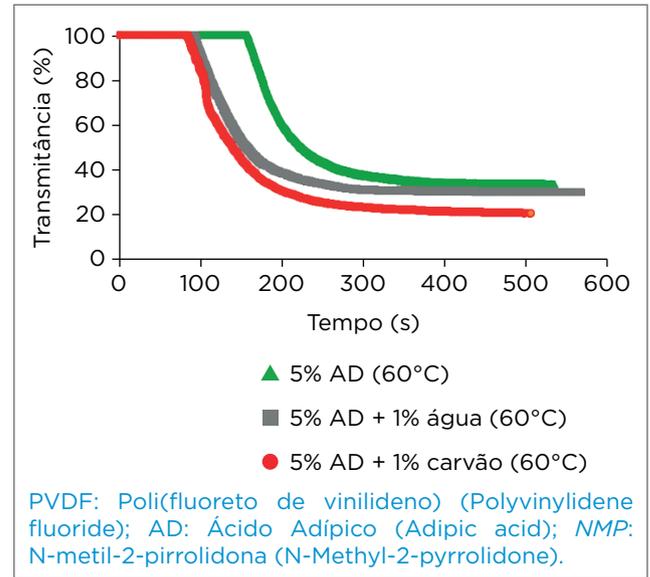


Figura 2. Testes de transmitância de luz. Efeito da concentração água e carvão na solução polimérica de PVDF/AD/NMP. PVDF = 17% m/m e AD = 5 % m/m.

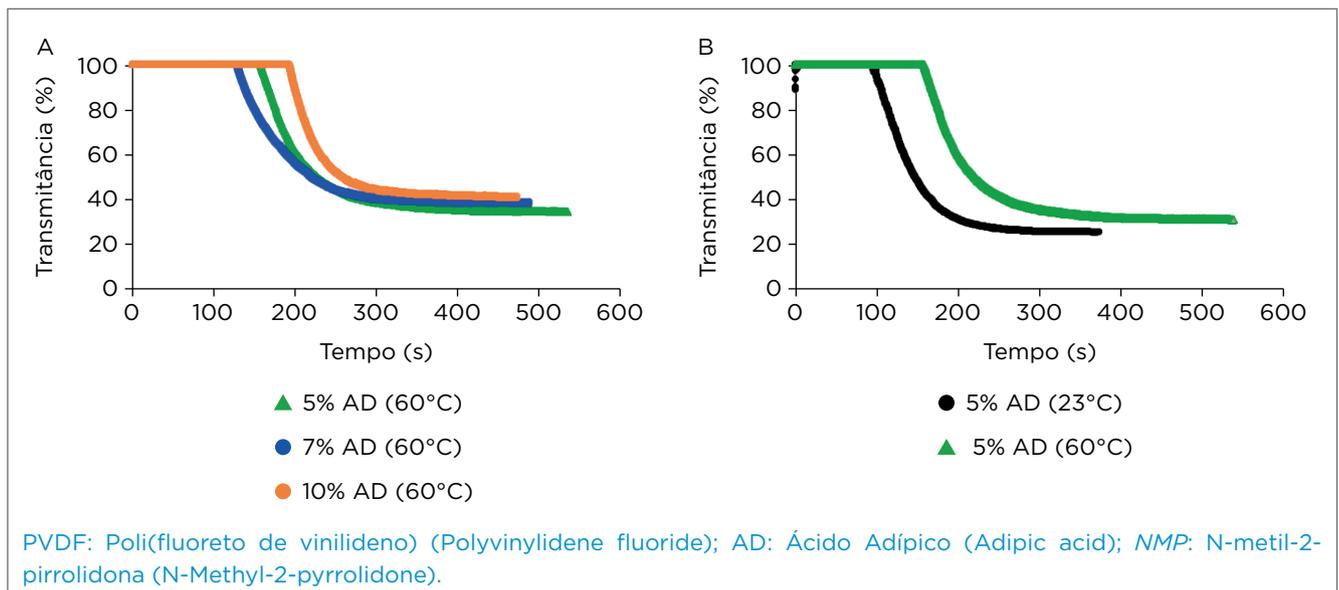
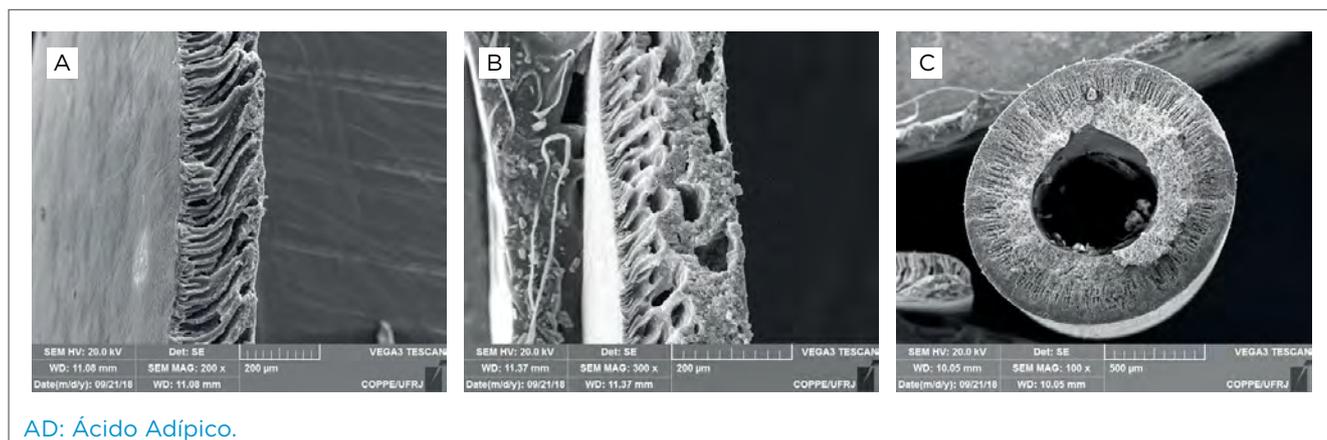
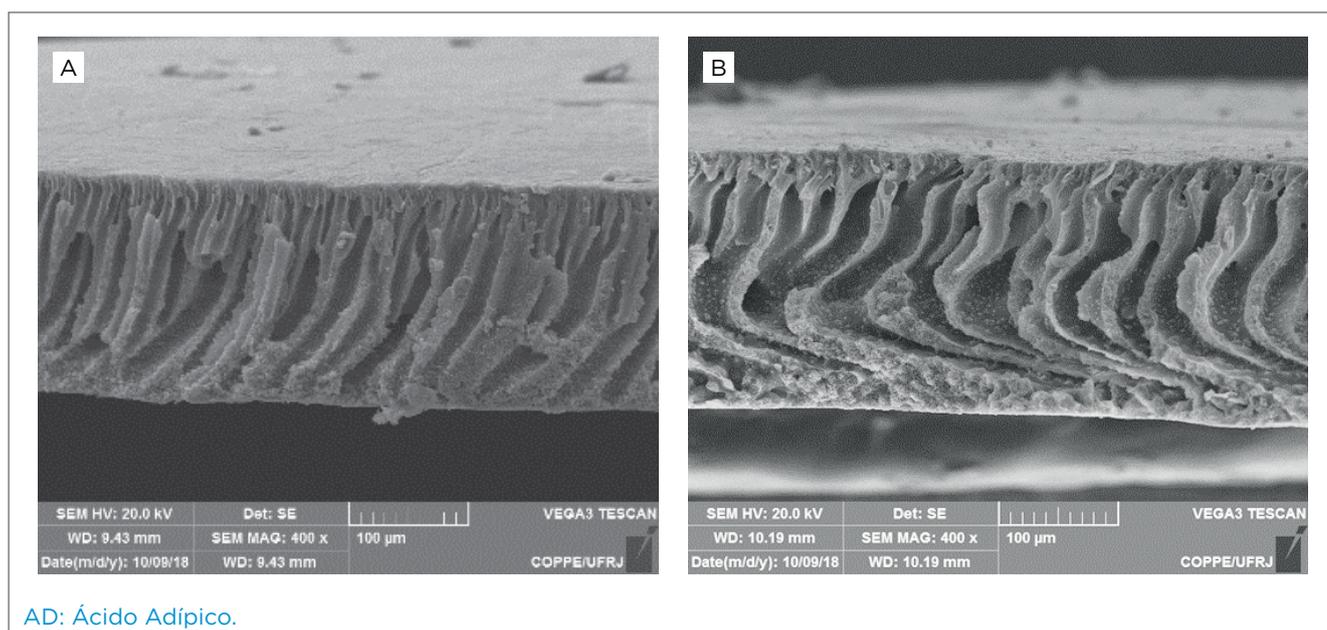


Figura 1. Testes de transmitância de luz. (A) Efeito da concentração de aditivo na solução polimérica de PVDF/AD/NMP. PVDF = 17% m/m. Temperatura da solução polimérica = 60°C. (B) Efeito da temperatura da solução polimérica PVDF/AD/NMP = 17/5/78 % m/m.



AD: Ácido Adípico.

Figura 3. Fotomicrografias das seções transversais das membranas obtidas: (A) membrana plana, temperatura da solução polimérica = 23°C; (B) membrana plana, temperatura da solução polimérica = 60°C; (c) fibra oca, temperatura da solução polimérica = 23°C.



AD: Ácido Adípico.

Figura 4. Fotomicrografias das seções transversais das membranas planas obtidas utilizando como aditivos: AD (5% m/m) e adição: (A) água destilada (1% m/m); (B) carvão ativado (1% m/m).

REFERÊNCIAS

KANG, G. D.; CAO, Y. M. Application and modification of poly(vinylidene fluoride) (PVDF) membranes, a review. *Journal of Membrane Science*, v. 463, p. 145-165, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.03.055>

ZHANG, Y.; WANG, R. Gas liquid membrane contactors for acid gas removal: recent advances and future challenges. *Current Opinion in Chemical Engineering*, v. 2, n. 2, p. 255-262, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2013.03.008>

PRODUÇÃO DE ADITIVOS À BASE DE ÉTERES DO GLICEROL PARA MELHORIA DE PROPRIEDADES DE FLUXO A FRIO

Production of glycerol ethers additives for improving cold flow properties

Paula Araujo de Oliveira¹, Claudio José de Araujo Mota², Bianca Peres Pinto³

Resumo: A busca por fontes energéticas renováveis tornou-se um dos temas primaciais do século. Em 2004, criou-se o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel para viabilizar a produção e o uso do *biodiesel* no país. Na produção do *biodiesel* é gerada cerca de 10% de glicerina como coproduto. Investigam-se novas rotas tecnológicas para promover o aproveitamento e a comercialização desse poliálcool excedente nos setores industriais. Uma maneira atraente é a síntese de éteres do glicerol empregando diferentes álcoois. As reações são realizadas em série (combinações possíveis dos álcoois em pares) em reator Parr (batelada), utilizando resina ácida e alterando as variáveis operacionais. Posteriormente, os produtos são alquilados parcialmente com sulfato de metila. Os éteres do glicerol são analisados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas e testados como aditivos oxigenados visando melhorar as propriedades de fluxo a frio do *biodiesel* (palma e sebo), que possui ponto de congelamento de aproximadamente 18°C, causando problemas de fluxo no inverno, sobretudo no sul do país.

Palavras-chave: Glicerina 1. Eterificação 2. Propriedades de fluxo a frio 3.

Abstract: The search for renewable energy sources became one of the primary themes of the century. In 2004, the National Biodiesel Production and Use Program (*Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel* – PNPB) was created to enable the production and use of biodiesel in the country. In biodiesel production, about 10% of glycerin is generated as a co-product. New technological routes are being investigated to promote the use and commercialization of this surplus polyalcohol in the industrial sectors. An attractive way to deal with this excess is the synthesis of glycerol ethers combined with different alcohols. The reactions are performed in series (possible combinations of alcohols in pairs) in a Parr reactor (batch), using acid resin and changing the operating variables. Subsequently, the products are partially alkylated with methyl sulfate. Glycerol ethers are analyzed by gas chromatography coupled with mass spectrometry and tested as oxygenated additives to improve the cold flow properties of biodiesel (palm and tallow), which has a freezing point of approximately 18°C, causing flow problems during winter, mainly in the southern regions of the country.

Keywords: Glycerin 1. Etherification 2. Cold Flow Properties 3.

1. Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ajudante da divisão de materiais da Diretoria de Engenharia Naval - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: paula.oliveira@marinha.mil.br

2. Doutor em Química Orgânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Diretor e professor titular do Instituto de Química e Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: cmota@iq.ufrj.br

3. Doutora em Ciências pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pesquisadora no Laboratório de Reatividade de Hidrocarbonetos, Biomassa e Catálise - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: pinto.bianca@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, com a elevada depleção dos recursos naturais que ocorre há anos, torna-se interessante buscar fontes de energia renováveis. Segundo a Resolução nº 45/2014 da Agência Nacional do Petróleo, o *biodiesel* é definido como “combustível produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal, composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa” (ANP, 2014). Como coproduto da reação de formação de *biodiesel* obtém-se a glicerina. O *biodiesel* pode ser utilizado puro ou misturado ao diesel mineral para combustão em motores, uma vez que sua especificação físico-química é semelhante à do *diesel* de origem fóssil (PARENTE, 2003). Atualmente, a proporção obrigatória de *biodiesel* no *diesel* é de 12% (B12) (ANP, 2020). A principal barreira apresentada para sua utilização é a grande oferta de glicerina gerada. Aproximadamente 10% do volume total de *biodiesel* produzido correspondem ao glicerol. Destarte, emergem novos processos para aproveitamento da glicerina excedente que visam transformá-la em produtos de maior valor agregado (essencial para sustentabilidade econômica da indústria de *biodiesel*), visto que a sua oferta está cada vez mais abundante no mercado em virtude do crescente incentivo governamental para a produção do *biodiesel*. Uma valorização promissora para esse álcool trihidroxilado é a sua transformação em éteres. O processo produz compostos com menor viscosidade e polaridade e consequentemente com maior volatilidade em comparação à glicerina pura (SILVA et al., 2009). A adição dos éteres de glicerol tem como propósito melhorar a cetanagem do *diesel*, uma vez que a utilização dos aditivos causa melhor desempenho do combustível, facilitando a partida a frio do motor (NOUREDDINI, 2001). Inúmeras investigações para obtenção de éteres de glicerol com álcoois e poucos estudos com sulfato de metila têm sido relatados mundialmente. O interesse da pesquisa deu-se pelo fato de ambos serem excelentes agentes esterificantes do glicerol e de matérias-primas de baixo custo, otimizando dessa forma o processo para produção de aditivos oxigenados para combustíveis. É possível formar até cinco isômeros de éter: dois éteres monossustituídos, dois éteres dis-sustituídos e um éter trissustituído.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho teve como foco principal desenvolver aditivos à base de éteres do glicerol para melhorar as propriedades de fluxo a frio do *biodiesel*. A proposta consistiu em sintetizar éteres do glicerol com diferentes álcoois (metanol, etanol, terc-butanol e n-butanol) como reagentes. As reações múltiplas em série (em pares de dois álcoois) ocorrem em reator Parr, em regime de batelada, na presença de catalisador sólido ácido heterogêneo (resina Amberlyst 15), mediante a variação da natureza e da ordem do reagente empregado. As reações são realizadas por meio das combinações possíveis dos álcoois em duas reações. O tempo reacional estipulado para o presente trabalho foi de quatro horas para cada reação. Posteriormente, os produtos obtidos serão alquilados parcialmente (hidroxila remanescente) com a adição de sulfato de metila. Os produtos das reações de ambos os processos visam a boa conversão e seletividade e são analisados basicamente por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas — técnica de grande importância, visto que combina o poder de resolução da cromatografia em fase gasosa à alta seletividade e sensibilidade do detector de massas. Subsequentemente, os éteres do glicerol obtidos por meio das reações propostas serão testados como aditivos oxigenados visando melhorar as propriedades de fluxo a frio do *biodiesel*. Serão realizados testes de ponto de fluidez, de entupimento de filtro a frio e de névoa das misturas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise dos resultados obtidos na Tabela 1, optou-se por condições em que a conversão do glicerol fosse moderadamente elevada (aproximadamente 60–80%), entretanto não atingisse valores próximos de 100%. Esperava-se que, após o término da primeira reação, o meio reacional ainda possuísse glicerol e monoéter do glicerol em quantidades suficientes para reagir com o segundo álcool da reação subsequente. O objetivo era conseguir atribuir a apenas uma molécula os benefícios da utilização de três reagentes diferentes (dois álcoois distintos e sulfato de metila) e formar produtos com grande potencial de serem empregados como aditivos oxigenados.

O terc-butanol possui reatividade significativamente maior em comparação com os outros álcoois investigados (carbocátion

estabilizado por três grupos metilas). Dessa forma, a terc-butilação mostra-se bem sucedida em temperaturas reacionais mais baixas (KLEPACOVA, 2005). Admitiu-se a temperatura reacional de 120°C quando o terc-butanol foi utilizado como reagente e de 180°C para os demais álcoois. Com relação à razão molar glicerol/álcool empregou-se 1:3, pois essa quantidade excedente de reagente já apresentou resultados satisfatórios em termos de conversão (aproximadamente 60–80%) e seletividade ao monoéter do glicerol, estabelecendo que a reação posterior também contribua positivamente para a nova molécula formada.

A reação em série, utilizando um novo reagente (álcool) nos produtos obtidos anteriormente, visa aumentar a proporção de diéteres do glicerol e, assim, alquilar hidroxilas do glicerol remanescente e do monoéter formado na primeira reação. A intenção é investigar a contribuição da adição do segundo reagente na conversão e seletividade do processo estudado. Observou-se que, em todos os casos, a adição do segundo álcool contribuiu para a eficiência do processo (aumento expressivo da conversão — em torno de 20%). Os melhores

resultados obtidos em termos de conversão foi a reação que utilizou metanol na primeira reação e etanol como reagente na segunda reação (Figura 1), visto que o ataque às hidroxilas remanescentes da reação 1 e a acessibilidade aos sítios ácidos tornam-se facilitados, pois ambos os reagentes são pequenos comparados com os outros utilizados e não há impedimento estérico significativo. Entretanto, constatou-se maior formação de triéteres do glicerol, o que não é interessante para a proposta futura do presente estudo, uma vez que terá menos grupamentos — OH livres para serem alquilados parcialmente com o sulfato de metila (a etapa seguinte, terceira reação em série, será prejudicada). Com relação à seletividade, o reagente que mostrou melhor seletividade aos diéteres do glicerol foi o terc-butanol (carbocátion estabilizado mais facilmente pelos três grupos metilas), pois ocorreu aumento da quantidade dos diéteres do glicerol formados (de 20 para 40%) em detrimento dos monoéteres da reação 1. Pelo fato de a molécula ser volumosa, há mais dificuldade na formação dos triéteres. A alteração da ordem dos reagentes nas reações em série não apresentou resultados divergentes.

Tabela 1. Resultados obtidos por meio da primeira reação de eterificação com diversos álcoois: variáveis operacionais testadas (caso-base).

	Razão molar	Álcool	Conversão (%)	Seletividade (%)			
				Mono	Di	Tri	Subprodutos
T = 120°C	1:3	Metanol	30	96	4	-	-
		Etanol	18	100	-	-	-
		Terc-butanol	81	72	25	3	-
		n-butanol	6	74	22	-	4
	1:6	Metanol	40	93	7	-	-
		Etanol	20	78	17	5	-
		Terc-butanol	88	70	27	3	-
		n-butanol	17	80	15	-	5
T = 180°C	1:3	Metanol	59	74	23	3	-
		Etanol	85	80	20	-	-
		Terc-butanol	92	65	20	5	-
		n-butanol	72	80	15	-	5
	1:6	Metanol	76	74	16	10	-
		Etanol	95	80	12	8	-
		Terc-butanol	98	70	20	10	-
		n-butanol	85	71	24	-	5

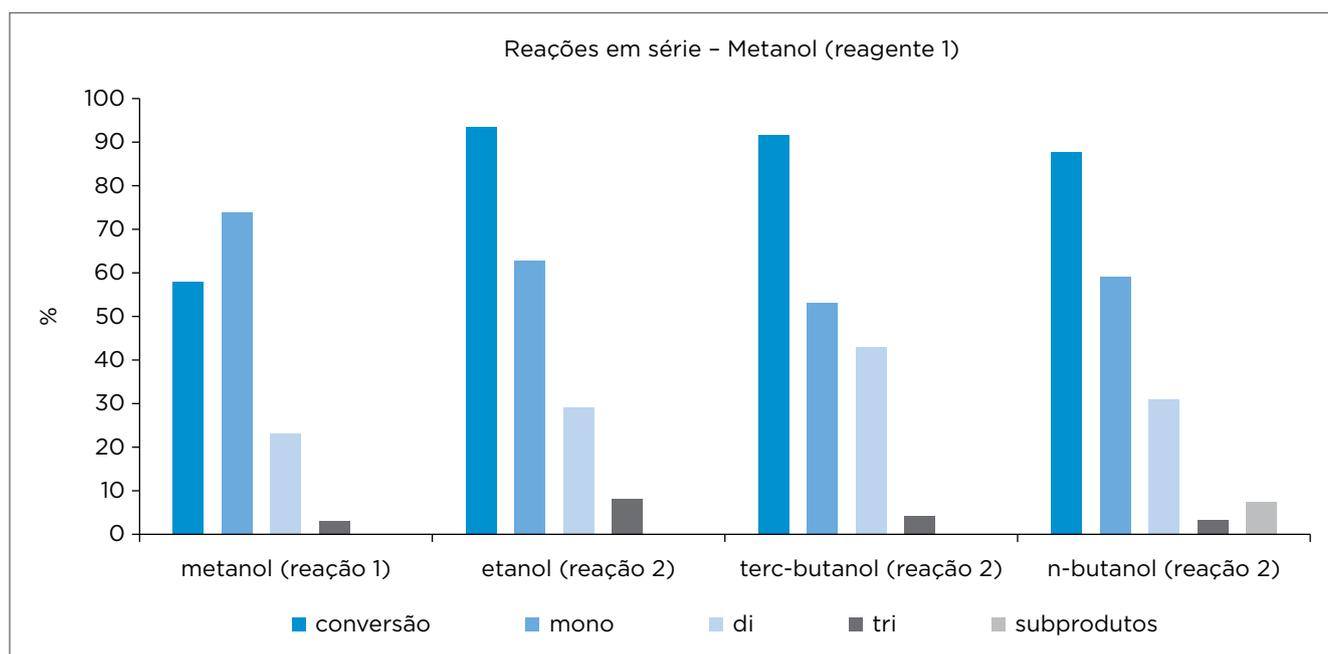


Figura 1. Resultados obtidos utilizando metanol como reagente na reação 1.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, até o presente momento, foram estudadas as reações de eterificação do glicerol com diferentes álcoois (metanol, etanol, terc-butanol e n-butanol) possibilitando a formação dos produtos mono, di e triéteres derivados do glicerol. A resina Amberlyst 15 apresentou ótimos desempenhos e foi o catalisador empregado no estudo. Também foram estudadas as reações em série alterando a

natureza e a ordem dos álcoois por meio das combinações possíveis dos reagentes em duas reações. A segunda reação mostrou-se eficiente para o presente estudo, obtendo-se maiores conversões e seletividades aos éteres do glicerol (com as condições operacionais selecionadas). Dessarte, a transformação do glicerol em produtos de maior valor agregado promove a cadeia produtiva de *biodiesel* e fornece à indústria vários compostos pertinentes com origem em reagente renovável.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução n. 45, de 25 de agosto de 2014. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Rio de Janeiro: ANG, 2014. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2014/agosto&item=ramp-45-2014>. Acesso em: mar. 2020.

KLEPACOVA, A.; MRAVEC, D.; HAJEKOVA, E.; BAJUS, M. Tert-butylation of glycerol catalysed by ion-exchange resins. *Applied Catalysis A*, v. 294, n. 2, p. 141-147, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2005.06.027>

PARENTE, E.E. *Biodiesel: uma aventura tecnológica nem país engraçado*. Fortaleza: Tecbio, 2003.

NOUREDDINI. System and process for producing biodiesel fuel with reduced viscosity and a cloud point below thirty-two (32) degrees Fahrenheit. *USPTO Patent Full*. Patent n. 6,174,501, p. 4-14, 2001.

SILVA, C.R.B.; GONÇALVES, V.L.C.; LACHTER, E.R.; MOTA, C.J.A. Etherification of Glycerol with Benzyl Alcohol Catalyzed by Solid Acids. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 20, n. 2, p. 201-204, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000200002>

REVESTIMENTO SOL-GEL CONTENDO INIBIDOR DE CORROSÃO ENCAPSULADO PARA PROTEÇÃO DE LIGAS AA2024

Sol-gel coating containing encapsulated corrosion inhibitor for protection of AA2024 alloys

Lais de Campos Barbieri¹, Brenda Diane Pereira Martins², Renata Batista Rivero Garcia³, Elizabete Yoshie Kawachi⁴

Resumo: As ligas AA2024-T3 são amplamente utilizadas na indústria aeroespacial devido a sua baixa densidade, boa resistência a fraturas e alta resistência mecânica. No entanto, a presença de cobre torna essas ligas propensas à corrosão. Diversos revestimentos protetores e inibidores contra corrosão vêm sendo estudados para substituir os tradicionais tratamentos a base de Cr^{6+} , e resultados promissores estão sendo encontrados com revestimentos *self-healing*. Este trabalho estudou o encapsulamento de nitrato de cério em micropartículas ocas de polímero de uréia-formaldeído e incorporação dessas em sistema sol-gel à base de silício, para posterior deposição na forma de filme sobre substratos de AA2024, com intenção de avaliar as propriedades autorreparadoras/inibidoras do cério na proteção da liga AA2024 contra corrosão.

Palavras-chave: Corrosão. *Self-healing*. AA2024.

Abstract: AA2024-T3 alloys are widely used in the aerospace industry due to their low density, good fracture resistance and high mechanical strength. However, the presence of copper makes these alloys prone to corrosion. Several coatings that protect against and inhibit corrosion have been studied to replace traditional Cr^{6+} -based treatments, and promising results are being found with self-healing coatings. This work studied the encapsulation of cerium nitrate in hollow urea-formaldehyde polymer microparticles and their incorporation in a silicon-based sol-gel system for subsequent film deposition on AA2024 substrates, with the intention of evaluating the self-repairing / inhibiting properties of cerium in the protection of AA2024 alloy against corrosion.

Keywords: Corrosion. Self-healing. AA2024.

1. Mestranda em Química Dos Materiais pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - São José dos Campos, SP - Brasil. E-mail: barbieri.lais@gmail.com

2. Mestranda em Química dos Materiais pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - São José dos Campos, SP - Brasil. E-mail: bre.dpmartins@gmail.com

3. Doutora em Engenharia Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Oficial do quadro de Magistério em Física da Academia da Força Aérea - Pirassununga, SP - Brasil. E-mail: renata.rivero@gmail.com

4. Doutora em Química pela Universidade Estadual de Campinas. Professora associada do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - São José dos Campos, SP - Brasil. E-mail: bete@ita.br

1. INTRODUÇÃO

A corrosão é um problema que pode se iniciar em uma trinca e comprometer as propriedades do material, levando a falhas catastróficas. Por exemplo, a queda de uma aeronave ocorrida em 1994, no Brasil, em que metade da sua tripulação morreu. Os relatórios do acidente indicaram que a pá da hélice havia quebrado em função de corrosão por pites e corrosão intergranular, o que facilitou propagar trincas de fadiga, além de comprometer as propriedades da peça atingida (LI; CALLE, 2007). A corrosão de metais causa perdas financeiras substanciais e requer esforços para limitar seu impacto. Estima-se que cerca de 2 a 5% do produto interno bruto (PIB) nacional de países como os Estados Unidos são gastos com danos causados diretamente pela corrosão (KOCH et al., 2006; SAMADZADEH et al., 2010).

As ligas de alumínio, sobretudo a AA2024 (Al-Cu-Mg-Mn), são comumente utilizadas na indústria aeroespacial em virtude das propriedades desses materiais, como baixa densidade, boa resistência à fratura e alta resistência mecânica. As partículas intermetálicas que se depositam nos contornos de grão da liga são responsáveis por essas propriedades, mas também diminuem a resistência à corrosão natural do alumínio. Sistemas de revestimento para proteção dessas ligas costumavam usar cromo como o melhor agente inibidor de corrosão, no entanto, os íons Cr^{6+} presentes nesses tratamentos possuem propriedades carcinogênicas e poluentes e esse uso tem sido banido, segundo as regulações *Restriction on Hazardous Substances* (RoHS - 2002/95/EC), da União Europeia, *Toxic substances control act* (TSCA) e *Occupational safety and health administration* (OSHA), dos Estados Unidos (EUROPEAN UNION, 2003; BARAL; ENGELKEN, 2002). Assim, outros tipos de revestimentos protetores e autorreparadores vêm sendo utilizados para controlar e prevenir danos causados por processos corrosivos. Um sistema promissor é a incorporação e a liberação controlada de um inibidor de corrosão em revestimentos, o que pode proteger o material antes que danos irreversíveis aconteçam (BUHROW et al., 2011). O cério tem se mostrado um inibidor eficiente contra processos corrosivos, sendo promissor substituto do cromo, visto que não apresenta as propriedades poluentes e carcinogênicas do cromo VI (ZAID et al., 2008).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A síntese das micropartículas com nitrato de cério encapsulado foi adaptada de Matsuda et al. (2016). Colocou-se em um béquer 14,25 g de Span 80, 0,74g de Tween 80 e 200 g de glicerina. Em outro béquer, adicionaram-se 4 g de resina ureia-formaldeído previamente preparada, 4 g de metil 3-mercaptopropionato, 10 g de propanona, 2 g de água deionizada, 5 g de peróxido de hidrogênio e 1 g de $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$. Assim, a fase oleosa foi preparada no primeiro béquer, e a fase aquosa foi preparada no segundo béquer. Adicionou-se a fase aquosa na fase oleosa, com agitação mecânica por 30 min. A emulsão preparada foi homogeneizada com sonda ultrassônica durante 10 min e novamente agitada mecanicamente por 3 h a 50°C. Após, filtrou-se a emulsão a vácuo para separação das micropartículas, e realizou-se lavagem dessas micropartículas com hexano.

Para preparar o filme sol-gel utilizou-se reator de vidro com sistema de refrigeração por água, no qual foi adicionado 15,10 mL de tetraetoxissilano (TEOS), 15,90 mL de 3-(trimetoxisilil)propil metacrilato (TMSPM) e 10 mL de isopropanol e que foi deixado sob agitação ultrassônica com amplitude (λ) de 50% e frequência (f) de 0,5 Hz, por 5 min. Feito isso, adicionou-se 3 mL de ácido nítrico e 3,4 mL de água deionizada e continuou-se a agitação ultrassônica por 30 min, a temperatura de 10°C.

Para incorporação das microcápsulas foi adicionado 0,1 g das microcápsulas com nitrato de cério (III) encapsulado em 5 mL de isopropanol. Deixou-se essa solução em banho de ultrassom por 15 min para desaglomeração das cápsulas. Com a ajuda de uma micropipeta, coletou-se 3 mL da solução com as micropartículas suspensas e adicionou-se a amostra coletada ao sol. A aplicação do revestimento com as micropartículas incorporadas nas placas de AA2024 foi feita por meio de *dip-coater*. A liga foi mergulhada na solução ainda em forma de sol, com velocidade de imersão/emersão de 1 mm/s e permanência de 1 s na solução. Colocou-se a placa metálica molhada com o filme e as micropartículas para secar a fim de evaporar os solventes e formar o filme gel.

Para caracterizar a morfologia dos revestimentos e identificar a presença de micropartículas de cério (III), foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura (MEV) Tescan Vegan 3.

O teste de polarização linear foi realizado utilizando-se potenciostato Autolab® PGSTAT30 em uma célula eletrolítica

de três eletrodos, sendo eles o eletrodo de referência (Ag/AgCl saturado), o eletrodo de trabalho (substrato não revestido e substrato revestido com e sem micropartículas) e o contraeletrodo (espiral de platina). A área exposta ensaiada foi de 0,39 cm², e o eletrólito empregado foi uma solução de NaCl a 0,1 mol/L, aerada naturalmente, em temperatura ambiente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra as micrografias obtidas por MEV para os substratos de alumínio 2024 revestidos com sol-gel de silício. O revestimento que contém as microcápsulas mostra-se

homogêneo e não apresenta trincas consideráveis, conforme Figura 1A, que indica que as microcápsulas foram incorporadas e que, apesar de não estarem homogeneamente distribuídas, elas não se encontram aglomeradas (Figura 1B). Nas Figuras 1C e 1D, observa-se o revestimento sol-gel sem incorporação das microcápsulas, o qual apresenta algumas irregularidades, mas aparentemente sem trincas e defeitos que exponham a superfície do substrato.

Na Figura 2, apresentam-se as curvas de polarização linear da amostra AA2024 sem nenhum revestimento (2A), da amostra AA2024 com o filme sol-gel sem a presença de micropartículas (2B) e da amostra AA2024 com o filme sol-gel e com micropartículas incorporadas (2C).

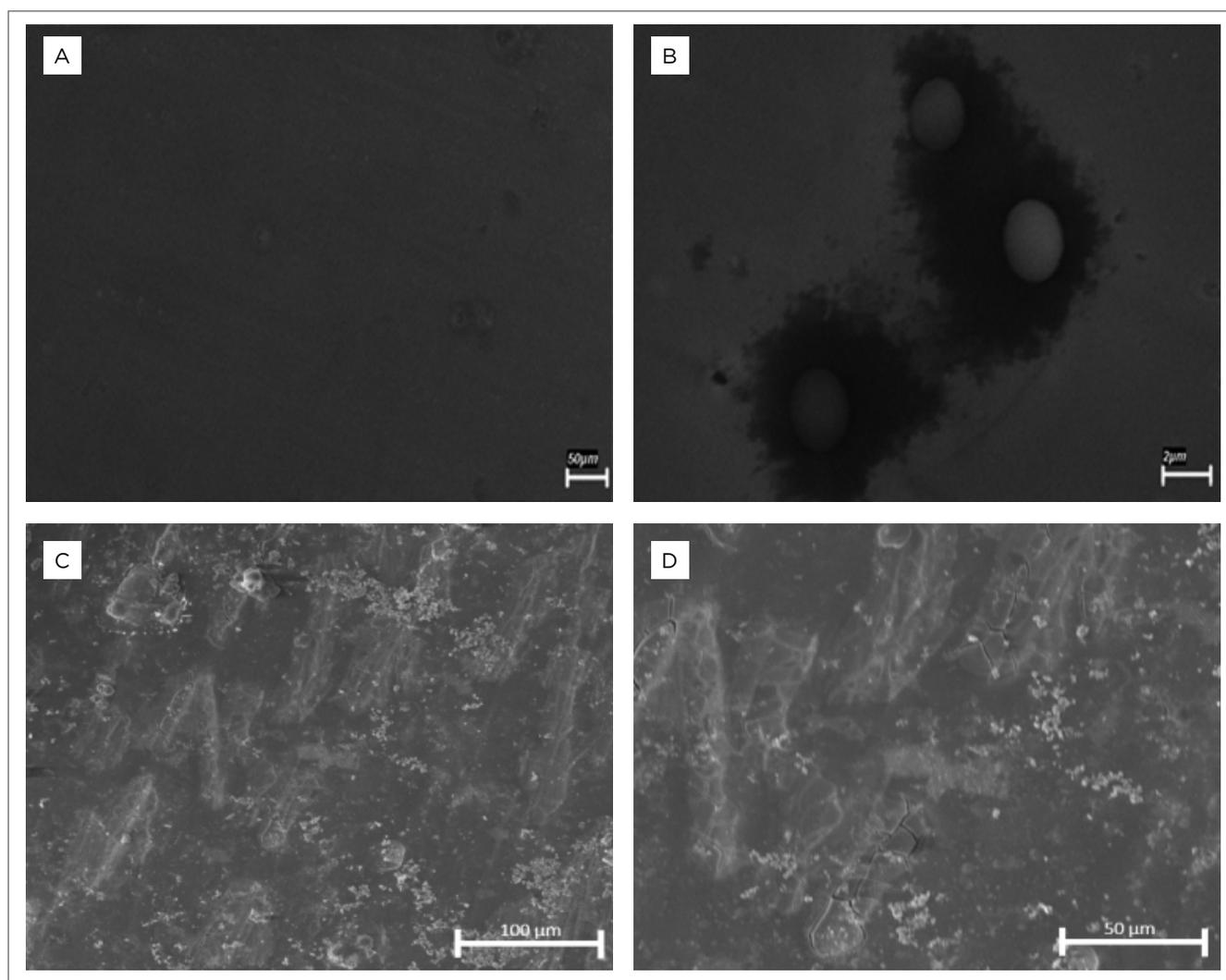


Figura 1. Micrografias pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV) de substratos de AA2024 com revestimento sol-gel, (A e B) com adição de micropartículas e (C e D) sem adição de micropartículas.

A Tabela 1 mostra os valores de potencial e densidade de corrente obtidos com base na análise gráfica.

É possível observar que a presença do filme sem as micropartículas deixou a liga AA2024 menos suscetível à corrosão, pois o potencial sofreu aumento de valor de $-0,54\text{ V}$ (AA2024 sem revestimento) para $-0,30\text{ V}$ (com revestimento sol-gel). Quando as micropartículas foram incorporadas, o potencial se tornou positivo, apresentando aumento significativo, o que significa, do ponto de vista termodinâmico, aumento da resistência da peça metálica aos ataques corrosivos.

O valor da densidade de corrente do sistema filme com adição de microcápsulas é menor do que nas amostras de liga pura, porém maior do que na liga com filme sem adição de microcápsulas. Cineticamente, uma vez iniciado o processo corrosivo na amostra AA2024 revestida com sol-gel contendo microcápsulas, a degradação da amostra tende a ser mais rápida do que a da liga AA2024 revestida com sol-gel apenas e tende a ser mais lenta do que a da liga AA2024 sem nenhum revestimento.

4. CONCLUSÃO

O revestimento sol-gel com micropartículas incorporadas causou aumento considerável de valor de potencial, o que indica menor suscetibilidade da liga a processos corrosivos,

Tabela 1. Parâmetros eletroquímicos do substrato AA 2024 não revestido e revestido com diferentes sistemas sol-gel.

Substrato	Potencial (V)	Densidade de corrente (A/cm^2)
AA2024 não revestido	$-0,54$	$5,75 \times 10^{-8}$
AA2024 revestido com sol-gel	$-0,30$	$1,81 \times 10^{-10}$
AA2024 revestido com sol-gel contendo microcápsulas	$+0,16$	$2,83 \times 10^{-8}$

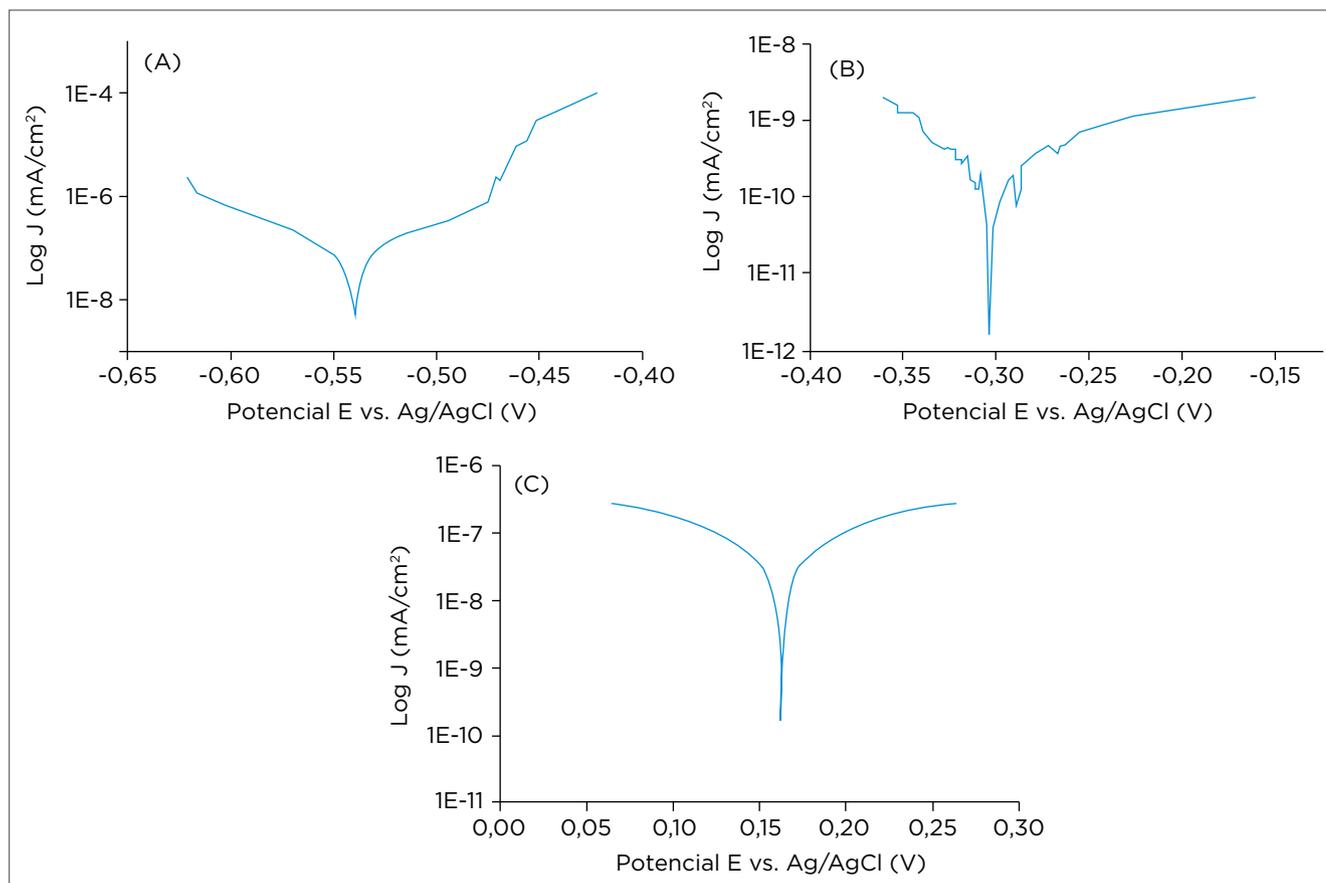


Figura 2. Curvas de polarização do substrato AA2024 (A) sem revestimento, (B) revestido com sol-gel sem microcápsulas e (C) revestido com sol-gel com adição de microcápsulas.

portanto, os resultados estão de acordo com o esperado para a proteção da liga AA2024 contra corrosão. Do ponto de vista cinético, o filme sem a presença de micropartículas mostrou-se mais eficiente, visto que seu valor de densidade de corrente é menor. No entanto, o valor de densidade de corrente do sistema AA2024/filme/micropartículas indica que a degradação causada por corrosão será mais lenta do que a degradação apresentada pela liga AA2024 sem revestimento.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) — Processo nº 88882.161950/2014-01 — e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) — Processo nº 311215/2016-5.

REFERÊNCIAS

BARAL, A.; ENGELKEN, R.D. Chromium-based regulations and greening in metal finishing industries in the USA. *Environmental Science and Policy*, v. 5, n. 2, p. 121-133, 2002. [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(02\)00028-X](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(02)00028-X)

BUHROW, J.; LI, W.; JOLLEY, S.; CALLE, L.M. Microencapsulation technology for corrosion mitigation by smart coatings. *NASA technical report*, 2011

EUROPEAN UNION. *Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the council on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment*. OFF. J. Eur. Union, 2003.

KOCH, G.H.; BRONGERS, M.P.; THOMPSON, N.G.; VIRMANI, Y.P.; PAYER, J.H. *Corrosion costs and prevention strategies in the United States, FHWA-RD-01-156*, U.S. Washington, D.C.: Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2006.

LI, W.; CALLE, L.M. Microencapsulation for corrosion detection and control. *NASA Technical Report*, 2007.

MATSUDA, T.; JADHAV, N.; KASHI, K.B.; JENSEN, M.; SURYAWAHSHI, A.; GELLING, V.V. Self-healing ability and particle size effect of encapsulated cerium nitrate into pH sensitive microcapsules. *Progress in Organic Coatings*, v. 90, p. 425-430, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.10.021>

SAMADZADEH, M.; HATAMI BOURA, S.; PEIKARI, M.; KASIRIHA, S.M.; ASHRAFI, A. A review on self-healing coatings based on micro/nanocapsules. *Progress in Organic Coatings*, v. 68, n. 3, p. 159-164, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.01.006>

ZAID, B.; SAIDI, D.; BENZAID, A.; HADJI, S. Effects of pH and chloride concentration on pitting corrosion of AA 6061 aluminium alloy. *Corrosion Science*, v. 50, n. 7, p. 1841-1847, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.03.006>

CONSTRUÇÃO DE ARTEFATOS CIBERNÉTICOS DE ALTA CAPACIDADE UTILIZANDO OS RECURSOS DE ALTO PRIVILÉGIO DE MICROPROCESSADORES

Building high capacity cyber artifacts using high privileged resources from microprocessors

William Augusto Rodrigues de Souza¹

Resumo: Este trabalho discute como usar o modo de gerenciamento do sistema (SMM) dos processadores Intel a fim de estabelecer um conjunto de requerimentos e, a partir dele, propor uma arquitetura genérica que pode ser usada para construir ferramentas de segurança ou armas cibernéticas, as quais teriam o controle total do sistema computacional onde fossem instaladas. Uma prova de conceito foi construída e os experimentos realizados foram bem-sucedidos, demonstrando a viabilidade da proposta e a validade dos requerimentos.

Palavras-chave: Armas cibernéticas. Ferramentas de segurança. Modo de gerenciamento do sistema. Processadores Intel.

Abstract: This work discusses how to use the System Management Mode (SMM) on Intel processors to establish a set of requirements and from those requirements proposes a generic architecture that can be used to build high capacity security tools or cyber weapons, which can take full control of the host computational system. A proof-of-concept was built and successful experiments were conducted showing the feasibility of this proposal and the validity of the requirements.

Keywords: Cyber weapons. Security tools. System management mode. Intel processors.

1. INTRODUÇÃO

A segurança de sistemas computacionais exige um processo de melhoria contínua, incluindo a capacidade de executar verificações em um sistema-alvo para minimizar o risco de que ameaças em potencial se tornem ataques bem-sucedidos. Um exemplo desse tipo de verificação é o uso de *software* antivírus.

Nesse contexto, alguns conceitos são fundamentais, como: isolamento, privilégio e visão. Ferramentas de segurança devem operar de maneira isolada para minimizar o risco de sofrer os mesmos ataques que estão tentando evitar. Devem ter alto privilégio para entrar em ação no momento necessário, com prioridade sobre as demais tarefas em execução no sistema. Além disso, precisam ter visão ou alcance global do sistema e

habilidade para lidar com o próprio ambiente em que está operando, aumentando as chances de sucesso ao realizar suas tarefas.

Uma tarefa de segurança comum, que demanda isolamento e alto privilégio, é medir a integridade de componentes do sistema, como arquivos essenciais de sistemas operacionais e de monitores de máquinas virtuais, atuando em ambientes virtualizados, como *data centers* e estruturas de computação em nuvem. A verificação de segurança pode ser feita de maneira estática (quando o item-alvo está apenas armazenado na memória, sem ser atualizado ou estar em execução) ou dinâmica (durante a execução do item-alvo).

Em geral, para medir a integridade de maneira estática, uma ferramenta de segurança pode executar um serviço criptográfico a fim de gerar um código de resumo (*hash*) do alvo. Para verificar a integridade, é necessário e suficiente gerar um novo código

1. Capitão de Fragata (T) do Centro de Análises de Sistemas Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: william.augusto@marinha.mil.br

hash do alvo um momento à frente no tempo e comparar os dois códigos. Se os códigos forem iguais, nenhuma mudança terá ocorrido e a integridade estará preservada. Do contrário, pode-se dizer que houve violação da integridade, mas não maliciosa. Cabe ao administrador do sistema fazer esse julgamento, já que, em tese, ele tem o controle sobre as alterações não maliciosas no ambiente. Realizar a medição dinâmica é muito mais complicado, porque o alvo irá, naturalmente, variar o seu conteúdo durante o tempo, gerando diferentes códigos *hash*, o que não indica necessariamente violação de integridade. Em ambos os casos, a ferramenta de segurança deve ser instalada em um ambiente isolado para não ser atacada e violada, ter privilégios suficientes e boa visão (alcance) dos itens-alvo distribuídos pelo sistema computacional.

Assim, o problema que os analistas de segurança estão enfrentando é a instalação de uma ferramenta de segurança em um ambiente isolado no sistema computacional, com alto privilégio e boa visão dos alvos, a fim de minimizar o risco de ataques.

Os recursos disponíveis no sistema computacional quando o processador entra no modo de gerenciamento do sistema (*system management mode* — SMM) oferecem ambiente e características apropriados para serem usados por uma ferramenta de segurança, tais como: isolamento, alto privilégio e boa visão do sistema. Neste artigo, são considerados apenas os processadores Intel, entretanto muitas das características válidas para processadores Intel são válidas para processadores de outros fabricantes, como os da AMD.

Por seus recursos — área de memória isolada, alto privilégio e prioridade de execução, inclusive sobre o sistema operacional, além de visão e acesso completo a todo o sistema —, o SMM tem sido usado para outros propósitos além dos descritos nos manuais da Intel (INTEL, 2014a; 2014b; 2014c), contribuindo para a corrida armamentista entre atacantes e defensores de sistemas computacionais.

O SMM foi introduzido na arquitetura IA-32, no processador Intel 386SL, lançado em 1990 (INTEL, 2001; 2003; 2014c; 2015), com o objetivo de fornecer recursos para gerenciar o sistema computacional hospedeiro do processador. Desde então, o SMM tem sido um item padrão nas arquiteturas IA-32 e IA-64. Não foi por acaso que o SMM foi lançado no processador Intel 386SL, uma versão móvel do Intel 386 (INTEL, 2001; 2003; 2015). Computadores móveis precisam de uma maneira robusta para o gerenciamento de energia do sistema. Assim, o SMM foi desenvolvido para fornecer gerenciamento

de energia e outras funções de gerenciamento do sistema, como controle de *hardware*. Antes do SMM, a maioria dessas funções era realizada por ferramentas *in-circuit emulation* (ICE).

Uma característica-chave do SMM é o seu alto privilégio; o *software* executivo do SMM, chamado *SMM handler*, tem privilégios mais altos do que os do sistema operacional ou dos monitores de máquinas virtuais. Ele é instalado pelo Sistema Básico de Entrada e Saída (BIOS) em uma área de memória isolada e protegida, permitindo-o gerenciar tarefas críticas do sistema com máxima prioridade. Esse é o ponto central deste trabalho, dado que, se sobrescrevermos o *SMM handler* por uma ferramenta de segurança ou por uma arma cibernética, esses artefatos terão, em tese, os mesmos recursos do *SMM handler*. Este trabalho discute como realizar essa substituição, estabelecendo os requisitos necessários e propondo a arquitetura que o artefato (de segurança ou arma cibernética) deverá usar para ser bem-sucedido.

Neste trabalho, é possível, sem perda de generalidade, substituir os termos “segurança” ou “ferramenta de segurança” por “código malicioso” ou “arma cibernética” e, assim, hospedar na memória do SMM um poderoso código malicioso que teria acesso irrestrito e protegido a todo o sistema computacional. Por questões práticas, a expressão “ferramenta de segurança” é usada com mais frequência do que “código malicioso” (ou “arma cibernética”) neste trabalho.

Nos últimos anos, o SMM foi explorado com sucesso de diferentes maneiras, por exemplo: evitando os mecanismos de proteção do SMM com uso da técnica *cache poisoning* (DUFLOT; ETIEMBLE; GRUMELARD, 2006; WOJTCZUK; RUTKOWSKA, 2009b) ou explorando uma falha de implementação em um *SMM handler* específico, o que leva a uma brecha nos mecanismos do *Intel Trusted Execution Technology* (Intel TXT), abrindo caminho para a exploração bem-sucedida do monitor de máquinas virtuais Xen (um dos mais conhecidos e usados no mercado) (WOJTCZUK; RUTKOWSKA, 2009a). Por outro lado, pesquisadores em segurança têm apresentado novas ferramentas que tiram proveito dos recursos do SMM, tais como: HyperSentry (AZAB et al., 2010), usada para medir a integridade de monitores de máquinas virtuais; *Strongly Isolated Computing Environment* (SICE) (AZAB; NING; ZHANG, 2011), para fornecer um ambiente de execução isolado; e AppCheck (WANG; SUN; STAVROU, 2012), para proteger aplicações por meio da inspeção dos respectivos códigos armazenados na memória física.

2. OBJETIVO

Apesar do número considerável de trabalhos sobre os recursos do SMM, não há estudos que investiguem o próprio SMM e seus fundamentos. Os trabalhos encontrados reportam o uso dos recursos e as maneiras de tirar vantagem de algumas características do SMM, mas há carência de estudos dedicados a entender esse sistema, estabelecer requerimentos para o seu uso em tarefas de segurança e definir uma arquitetura para sua utilização como plataforma para ferramentas de segurança.

Em particular, as ferramentas de segurança baseadas nos recursos do SMM estudadas nesta pesquisa não tiram vantagens de todos esses atributos, falhando notadamente em explorar seu isolamento e sua transparência. Além disso, muitas dessas ferramentas não respeitam as restrições e limitações do SMM, como o tempo máximo de latência (tempo em que o sistema operacional fica “parado”, esperando a execução do *SMI handler*). Em geral, a arquitetura dessas ferramentas é modular, e apenas um dos módulos é colocado na área de memória isolada e protegida do SMM, comunicando-se com outros módulos armazenados em áreas não protegidas do sistema, os quais carecem do isolamento oferecido pelo SMM e podem ser atacados, assim como outros itens do sistema.

Assim, esta pesquisa investiga o SMM no contexto dos processadores Intel para estabelecer um conjunto de requerimentos e, a partir dele, propor uma arquitetura genérica que pode ser usada para construir ferramentas de segurança ou armas cibernéticas de alta capacidade, as quais teriam o controle total do sistema computacional onde fossem instaladas. Por fim, uma prova de conceito é construída para medir a integridade de um arquivo do monitor de máquina virtual Xen. Tal medição é limitada ao mínimo necessário para provar o conceito da arquitetura.

3. METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia empregada neste trabalho consistiu em pesquisa na literatura científica e nos manuais da Intel e em sondagens, por meio de programas nas linguagens C e *assembly*, a diversos computadores equipados com diferentes modelos de processadores Intel para identificar os detalhes expostos nos manuais desses produtos.

Um conjunto de requerimentos e um modelo de ameaças foram estabelecidos, e uma arquitetura genérica foi concebida para ser usada na construção dos artefatos. Uma prova de conceito foi construída usando a linguagem C.

4. RESULTADO DO TRABALHO

Os requerimentos estabelecidos para construir artefatos que utilizem os recursos do SMM foram os seguintes:

- **Requerimento 1 – Pequeno.** Existem 32512 *bytes* disponíveis para o código do *SMI handler* e seus dados na memória isolada e protegida do SMM, chamada SMRAM. A SMRAM pode ter o tamanho de até 4 *Gbytes*, mas é recomendado manter o tamanho mínimo para não afetar a transparência das ferramentas. Se forem observadas as ferramentas de segurança que usam recursos do SMM, nota-se que a maioria delas utiliza arquitetura semelhante, levando em conta uma máquina remota para analisar os dados recolhidos e para outras funções de gerência. Essa arquitetura resolve a questão do espaço limitado, modularizando as ferramentas. Embora amenize um problema funcional, isso cria um problema de segurança, pois abre novos locais de ataque, como o canal de comunicação, os *drivers* e os dispositivos utilizados para permitir a comunicação com a máquina remota. Além disso, tais ferramentas perdem a proteção de isolamento do SMM ao usar outros módulos fora da SMRAM. Assim, uma aplicação de segurança baseada em SMM deve ser pequena o suficiente para caber no menor tamanho disponível.
- **Requerimento 2 – Rápido.** A Intel especifica que a latência máxima, ou seja, o tempo máximo que o sistema computacional pode permanecer em execução no modo SMM, deve ser inferior a 150 microssegundos para minimizar o risco de travamento, entre outros problemas (INTEL, 2014d). Assim, o tempo de execução a cada chamada para a execução do artefato deve ser menor ou igual a 150 microssegundos.
- **Requerimento 3 – Persistente.** A SMRAM é volátil, e a reinicialização do sistema irá limpar todo o seu conteúdo. Assim, o código e os dados relacionados com SMM precisam ser recarregados a cada inicialização. Um artefato que utiliza os recursos do SMM, portanto, precisa ser incorporado na BIOS (ou entidade equivalente), uma vez

que a BIOS contém o código relacionado ao SMM e seus dados e carrega-os para a SMRAM durante o processo de inicialização do sistema computacional.

- **Requerimento 4 – Cooperativo.** As funções do *SMM handler* precisam ser preservadas, uma vez que têm importantes tarefas a executar. Qualquer *software* baseado no SMM deve preservar as funções originais do *SMM handler*, adicionando seu próprio código ao código desse software executivo sem substituir qualquer parte dele. Ao entrar no SMM, o processador procura a primeira instrução a ser executada no endereço indicado pelo conteúdo do registrador SMBASE + 0x8000 (por 0x38000 por padrão) na SMRAM, onde o *SMM handler* está localizado, o que implica que qualquer artefato baseado no SMM deve ser uma versão modificada do *SMM handler*.
- **Requerimento 5 – Isolado.** O *SMM handler* — e, conseqüentemente, qualquer *software* baseado no SMM — executa suas tarefas sem notificar ou ser reconhecido pelo sistema operacional (GRAWROCK, 2008). Além disso, uma vez que o sistema operacional fica parado durante todo o tempo em que o processador está no SMM, a execução do *software* baseado em SMM é transparente para qualquer outro *software* no sistema. Logo, produzir um artefato para usar o SMM e colocá-lo na área de memória fora da SMRAM é, no mínimo, contraintuitivo, uma vez que a principal motivação para usar o SMM é beneficiar-se de seus recursos, como isolamento e transparência.
- **Requerimento 6 – Resistente.** O *cache poisoning* é um ataque efetivo ao SMM, possível graças à manipulação dos registradores *Memory Type Range Registers* (MTRRs) para tornar a SMRAM “cacheável” (dados da SMRAM passam a ser copiados na memória *cache*). A fim de impedir esse ataque, o mecanismo Interface SMRR, disponibilizado pela Intel, deve ser usado para proteger os registradores MTRR relacionados. Assim, qualquer recurso disponível no sistema para reforçar a segurança do SMM deve ser empregado. Alerta-se que nem todos os processadores Intel possuem suporte para a Interface SMRR.
- **Requerimento 7 – Ser chamado por qualquer interrupção de gerenciamento de sistema.** Para iniciar qualquer *software* baseado no SMM, uma interrupção de gerenciamento de sistema (SMI) deve ser gerada. Uma abordagem comum para desencadear uma SMI e iniciar tal *software* é escrever na porta de entrada e saída “0xB2H”.

Como essa é uma abordagem bastante conhecida, um ataque pode ser usado para impedir tal ação pela identificação da assinatura do código e, em seguida, negação do uso dessa via. Assim, um artefato baseado no SMM deve tirar proveito de qualquer SMI gerada para começar a executar seu trabalho. Por outro lado, sempre que a ferramenta precisar começar, ela deverá ser capaz de iniciar uma SMI de diferentes maneiras.

- **Requerimento 8 – Completo.** Como discutido nos requerimentos 1 (pequeno, para que todas as partes fiquem dentro da SMRAM) e 5 (isolado, todas as partes dentro da SMRAM e, assim, sem uso de máquina remota), algumas ferramentas de segurança precisam de uma máquina remota para analisar os dados recolhidos e para outras funções de gerência. Tais ferramentas devem manter parte de seu código no sistema operacional ou no monitor de máquina virtual. A HyperSentry (AZAB et al., 2010), por exemplo, usa um agente implantado na base de código do monitor de máquina virtual. Enquanto resolvem alguns problemas, essas implementações perdem os benefícios de usar o SMM, como isolamento e transparência. Assim, um *software* baseado no SMM deve ter todas as funcionalidades para executar suas tarefas e todos os dados necessários completamente instalados na SMRAM.

Uma prova de conceito foi construída usando a linguagem C para medir a integridade de um arquivo essencial (*xend-config.xp*) do monitor de máquinas virtuais Xen. Os experimentos foram realizados com sucesso em 13 máquinas, com detalhes dos processadores e *chipset* de cada máquina (Tabela 1).

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma pesquisa sobre o SMM em processadores Intel a fim de estabelecer um conjunto de requerimentos e, a partir dele, propor uma arquitetura genérica que pode ser usada para construir ferramentas de segurança ou armas cibernéticas de alta capacidade, as quais teriam controle total do sistema computacional onde fossem instaladas.

Uma prova de conceito foi construída e os experimentos realizados foram bem-sucedidos, demonstrando a viabilidade da proposta e a validade dos requerimentos.

Tabela 1. Máquinas utilizadas nos experimentos.

OEM	Processador	MCH	ICH
Gigabyte	Dual Core E2160	945P	ICH7
Gigabyte	Dual Core E2160	945P	ICH7
Gigabyte	Pentium 4	945P	ICH7
Gigabyte	Pentium 4	945P	ICH7
Asus Tek	Pentium 4	Não identificado	ICH7
Dell	i5-2500	Sandy Bridge	H67
Asus	Atom N270	82945GSE	ICH7-M
Foxconn	Atom N270	E7500	ICH3-M
HP	i5-650	Clarkdale	P55
Fujitsu	Pentium 4-M 548	82845	ICH3-M
HP	i7-2670QM	Sandy Bridge	HM65
Acer	i5-3450	Ivy Bridge	B75
Compaq	Pentium III-M	82830M	ICH3-M

REFERÊNCIAS

AZAB, A.M.; NING, P.; WANG, Z.; JIANG, X.; ZHANG, X.; SKALSKY, N.C. Hypersentry: Enabling stealthy in-context measurement of hypervisor integrity. *In: ACM CONFERENCE ON COMPUTER AND COMMUNICATIONS SECURITY*, 17., 2010, Nova York. *Anais...* Nova York: ACM, 2010. p. 38-49.

AZAB, A.M.; NING, P.; ZHANG, X. SICE: A hardware-level strongly isolated computing environment for x86 multi-core platforms. *In: ACM CONFERENCE ON COMPUTER AND COMMUNICATIONS SECURITY*, 18., 2011, Nova York. *Anais...* Nova York: ACM, 2011. p. 375-388. <http://doi.org/10.1145/2046707.2046752>

DUFLOT, L.; ETIEMBLE, D.; GRUMELARD. Using CPU system management mode to circumvent operating system security functions. *In: CANSECWEST SECURITY CONFERENCE*, 7., 2006. *Anais...* 2006.

GRAWRICK, D. *Dynamics of a trusted platform: a building block approach*. 2ª ed. Hillsboro, OR: Intel Press, 2008.

INTEL. *Intel IA-32 Architecture Software Developer's Manual*. Denver: Intel Corporation, 2001. v. 3.

_____. *Intel IA-32 Architecture Software Developer's Manual*. Denver: Intel Corporation, 2003. v. 3.

_____. *Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual*. Denver: Intel Corporation, 2014a. v. 1.

_____. *Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual*. Denver: Intel Corporation, 2014b. v. 2.

_____. *Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual*. Denver: Intel Corporation, 2014c. v. 3.

_____. The Intel BIOS Implementation Test Suite (BITS), version 1090. Denver: Intel Corporation, 2014d.

_____. *Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual*. Denver: Intel Corporation, 2015. v. 3.

WANG, J.; SUN, K.; STAVROU, A. Hardware-assisted application integrity monitor. *In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCE*, 45., 2012. *Anais...* HICSS, IEEE Computer Society, 2012. p. 5375-5383. <http://doi.org/10.1109/HICSS.2012.299>

WOJTCZUK, R.; RUTKOWSKA, J. Attacking intel trusted execution technology. *In: BLACK HAT CONFERENCE*, 2009. *Anais...* Las Vegas, 2009a.

WOJTCZUK, R.; RUTKOWSKA, J. Attacking SMM memory via intel CPU cache poisoning. 2009b.

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 Pessôa¹,
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 (PESSÔA, 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,

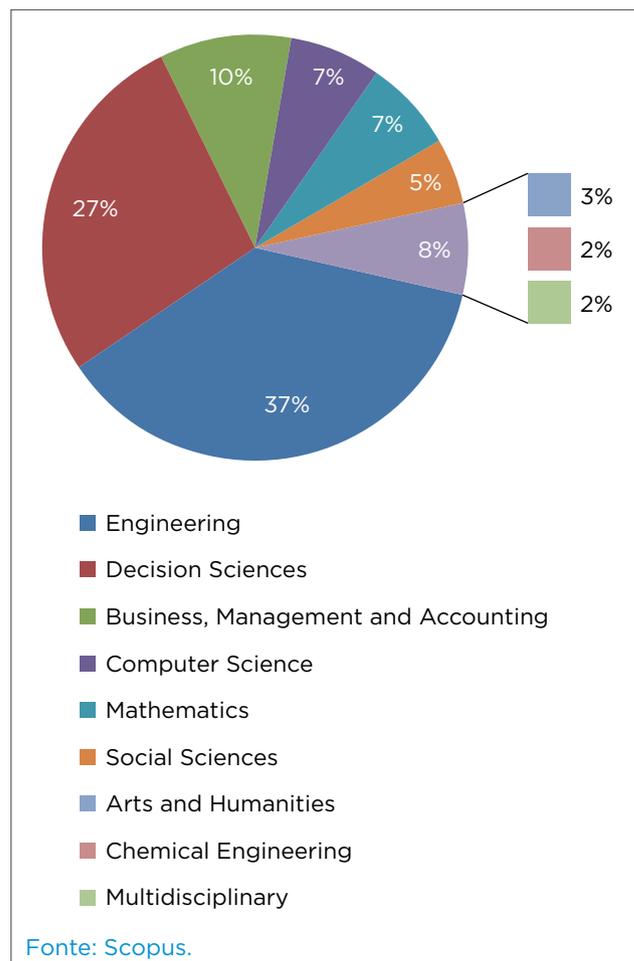


Figura 2. Documentos por área.

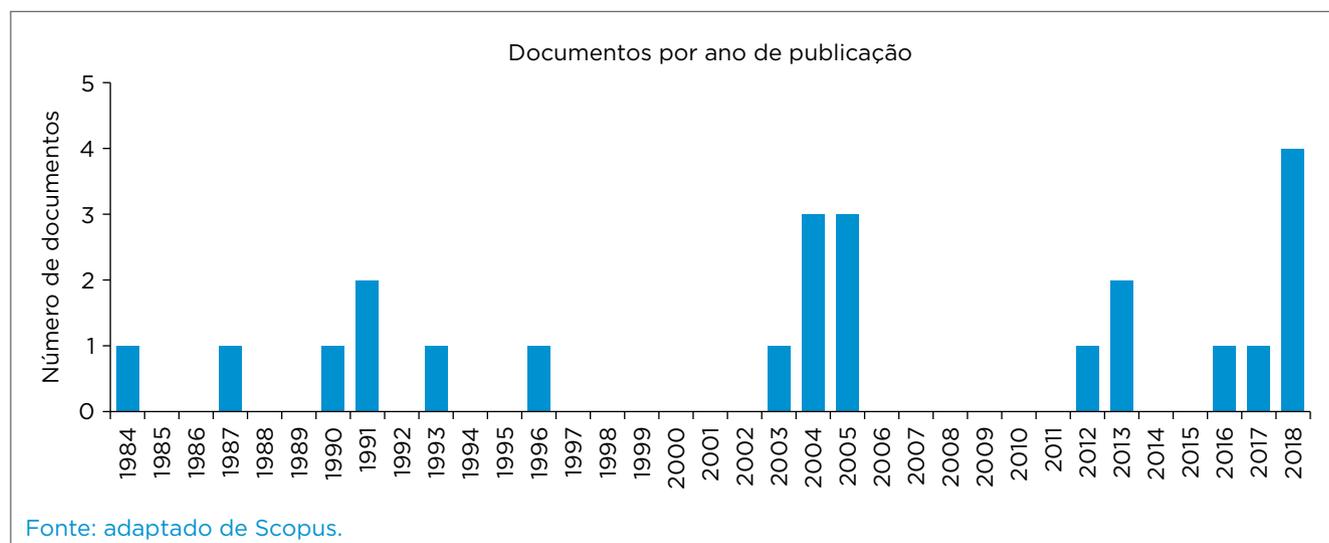


Figura 1. Número de documentos encontrados por ano de publicação.

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.

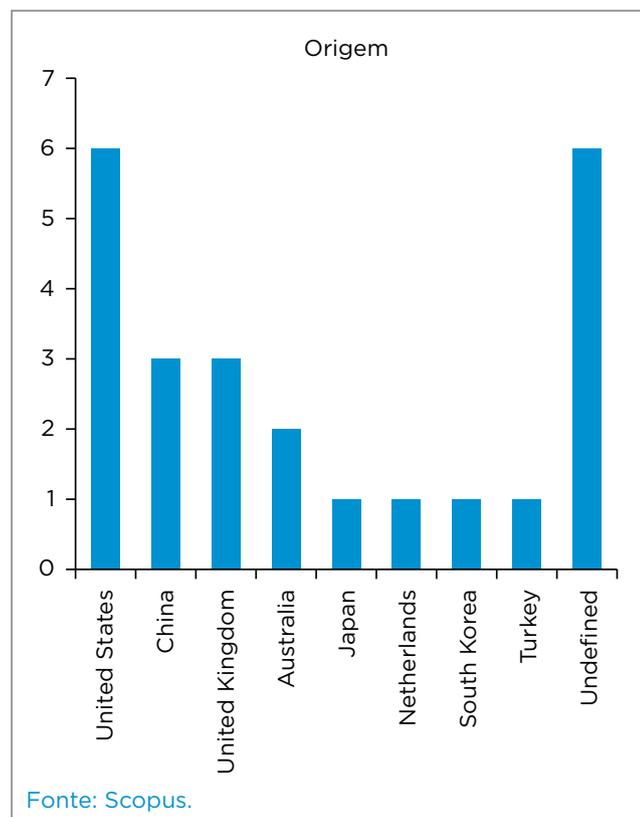


Figura 3. Documentos por país.

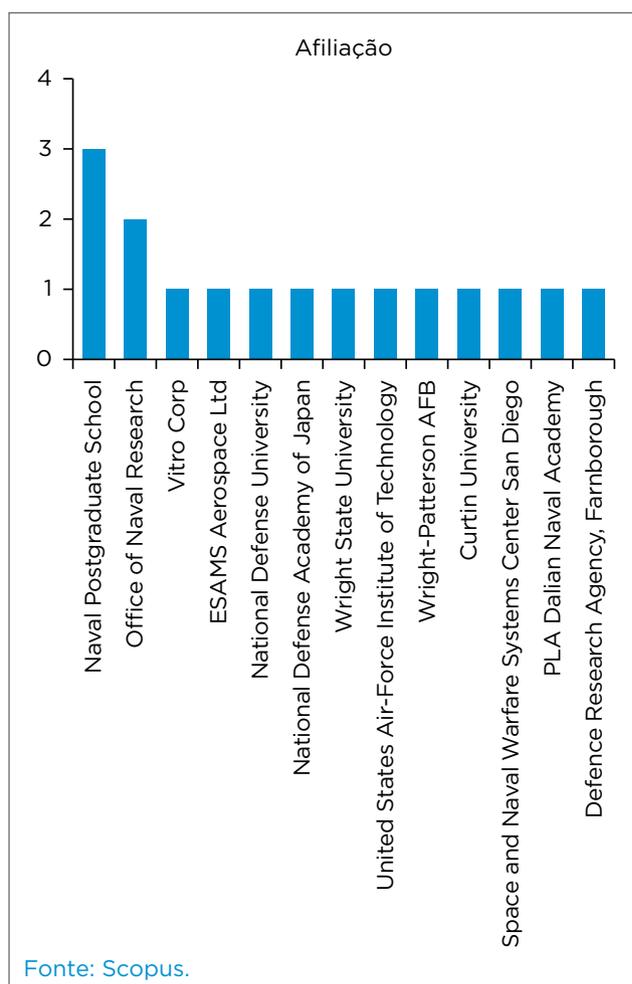


Figura 4. Documentos por afiliação.

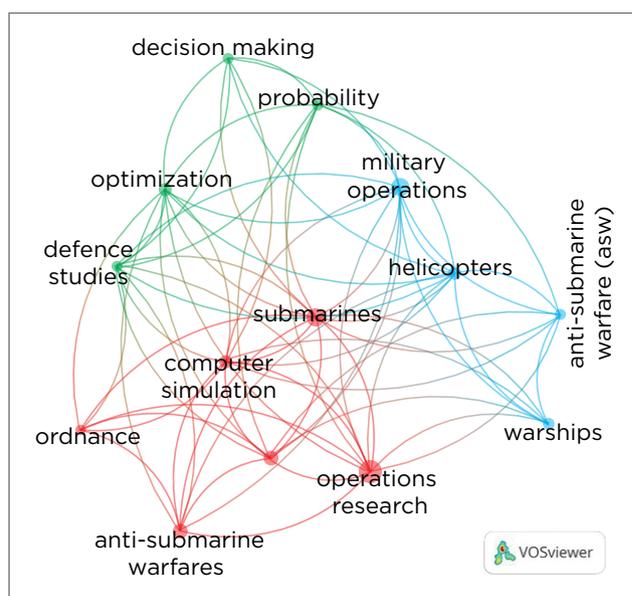


Figura 5. Palavras-chave.

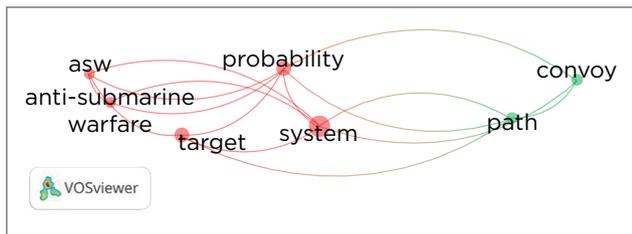


Figura 6. Conexões mais frequentes.

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.

UMA SISTEMÁTICA DE DECISÃO PARA O CORPO DE FUZILEIROS NAVAIS BASEADA EM MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

A decision-making system for the Marine Corps based on multi-criteria decision support methods

Leonardo Amorim do Amaral¹, Newton José Ferro², José Calixto dos Santos Junior³, Sérgio Douglas Oliveira Bentes⁴, Newton José Ferro Junior⁵

Resumo: O presente trabalho trata-se da aplicação de uma abordagem sobre o apoio à decisão com base na convergência dos métodos Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade na sua versão III (Election et Choix Traduisant La Realite — ELECTRE III) e de Análise Hierárquica do Processo (Analytic Hierarchy Process — AHP), na seleção de um meio operativo, denominado de plataforma, que melhor possa atender às necessidades expedicionárias do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN). Não teve como propósito comparar os dois métodos, mas sim auxiliar o processo de decisão no aproveitamento das características específicas de cada método e identificar as possíveis convergências. A fim de tornar exequível a utilização dos métodos ELECTRE III e AHP como auxílio à decisão de um mesmo problema, por meio da busca de possíveis convergências, os autores elaboraram, empiricamente, uma tabela de atribuição dos julgamentos para inserção no método AHP, baseado na diferença das medianas dos pesos atribuídos pelos dez especialistas julgadores dos critérios estabelecidos, os quais poderão evoluir para outra abordagem paramétrica, como um processo de melhoria contínua.

Palavra-chave: Multicritério de Apoio à Decisão. Election et Choix Traduisant La Realite. Análise hierárquica. Apoio à decisão.

Abstract: This study deals with the application of a decision-making support approach based on the convergence of the ELECTRE III and AHP methods, in the selection of an operational environment, dubbed a platform, that can best meet the expeditionary needs of the Brazilian Marine Corps. The purpose was not to compare the two methods, but to help the decision-making process by taking advantage of the specific characteristics of each method and to identify possible convergences. In order to make the use of the ELECTRE III and AHP methods feasible as an aid to the decision-making process regarding the same problem through the search of possible convergences, the authors empirically elaborated a table for assigning the judgments for insertion in the AHP method, based on the difference of the medians of the weights attributed by the ten judging specialists of the established criteria, which could evolve to another parametric approach, as a process of continuous improvement.

Keywords: Multi-Criteria Decision Analysis. Election et Choix Traduisant La Realite. Analytic Hierarchy Process. Decision Support.

1. Mestre em Engenharia Nuclear pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Auxiliar de Ciência, Tecnologia e Inovação do Comando do Material de Fuzileiros Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: leofuznav@gmail.com

2. Doutor em Engenharia Nuclear pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Assessor de Ciência, Tecnologia e Inovação do Comando do Material de Fuzileiros Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: newtonferro@yahoo.com.br

3. Mestre em Ciências Navais pela Escola de Guerra Naval. Gerente de Viaturas Blindadas Leves 4 x 4 do Comando do Material de Fuzileiros Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: jose.calixto@marinha.mil.br

4. Assault Amphibian Unit Leader Course at Assault Amphibian School Battalion Training Command. Auxiliar da Gerência de Viaturas Blindadas Leves 4 x 4 do Comando do Material de Fuzileiros Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: douglasbentes@hotmail.com

5. Pós-Graduado em Pesquisa de Engenharia do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestre pelo 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: newtonferro@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Na área de estudo do processo decisório, diversas disciplinas e metodologias têm sido desenvolvidas para auxiliar a construção de modelos de decisão, como árvores de decisão, teoria dos jogos, programação linear e análise multicritério. Essa última possui uma grande integração com a Teoria dos conjuntos nebulosos (*Fuzzy Sets*); Lógica nebulosa (*Fuzzy Logic*); Redes de neurônios artificiais (*Neural Network*) e a Teoria de conjuntos aproximativos (*Rough Sets Theory*) e possui como principal característica tratar cientificamente a subjetividade inerente ao processo de decisão (COSTA, 2005).

Nesse contexto, o CFN iniciou um estudo para adquirir um meio operativo que proporcione o embarque de tropa para cumprir missões específicas que atendam aos requisitos mínimos exigidos para emprego nos Grupamentos Operativos de Fuzileiros Navais (GptOpFuzNav). Por se tratar de uma aquisição estratégica para emprego militar, esse trabalho não mencionará quais tipos de meios operativos foram analisados, seus modelos e fabricantes, que serão denominadas agora simplesmente como plataformas.

Esse trabalho é visto como um problema clássico de decisão complexa, em que vários critérios podem ser necessários para uma escolha final entre diferentes alternativas. Considerado, portanto, como um problema Multicritério de Apoio à Decisão (AMD), pois, segundo de Almeida (2013), consiste em uma situação que há pelo menos duas alternativas de ação para escolher, e essa escolha é conduzida pelo desejo de se atender aos múltiplos objetivos, muitas vezes, conflitantes entre si.

Assim, o objetivo do presente estudo é de apresentar a metodologia utilizada no processo de escolha dessa plataforma, utilizando os conceitos de AMD, particularmente o método ELECTRE III e o método AHP, desenvolvido para utilização por um único decisor, adaptado pelos autores para uma aproximação com múltiplos decisores.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Diversos estudos tratam da aplicação de métodos para suporte à decisão das organizações. A busca por uma metodologia clara e que envolva a racionalização da decisão tem sido um objetivo a ser alcançado. É muito comum encontrar

registros de trabalhos envolvendo decisões para seleção de equipamentos ou de pessoal. Segundo Roy (1993), o processo de apoio à decisão é definido como a atividade em que um facilitador, utilizando-se de procedimentos científicos, ajuda a obter elementos de resposta às questões perguntadas aos atores envolvidos em um processo decisório.

Os métodos AMD tem por objetivo ser uma ferramenta de auxílio para analistas e decisores em situações que haja a necessidade de identificar prioridades baseado em múltiplos critérios que envolvam duas ou mais alternativas (GOMES, 1999).

Entre esses tipos de problemas é comum a classificação dos métodos desenvolvidos pela Escola Americana e Escola Francesa. Os métodos desenvolvidos são baseados em relações de prevalência e neles se destacam os métodos das famílias ELECTRE (ROY, 1968; 1978; ROY; SKALKA, 1984) e PROMETHEE (BRANS; MARESCHAL; VINCKE, 1984). Os métodos da Escola Americana já possuem características que têm a finalidade de reduzir os vários critérios a uma síntese, na grande maioria das vezes, por meio de uma soma ponderada. Entre esses métodos destacam-se o AHP (SAATY, 1980), TODIM (GOMES, 1987) e MACBETH (BANA E COSTA; VANSNICK, 1995; 1997).

2.1. MÉTODO ELECTRE

O método ELECTRE foi concebido por Bernard Roy em resposta às deficiências dos métodos de solução de decisão existentes. O ELECTRE evoluiu por meio de várias versões, todas baseadas nos mesmos conceitos fundamentais, porém operacionalmente um pouco diferentes (ROY, 1991).

O ELECTRE é um método bem conhecido que possui um histórico de aplicações bem-sucedidas em vários tipos de situações de tomada de decisão. Sua abordagem requer uma entrada de avaliações de critérios para as alternativas chamadas Matriz de decisão, informações de preferência, expressas como pesos, limiares e outros parâmetros (SEVKLI, 2010).

Todos os métodos do tipo ELECTRE envolvem dois procedimentos principais: a modelagem de preferências com relações de superação, seguida de um procedimento de exploração (KAYA; KAHRAMAN, 2011).

Segundo de Almeida (2013), uma das características principais que distingue o ELECTRE de muitos outros múltiplos métodos de solução é por ele não ser compensatório. Isto significa que bons resultados em alguns critérios não compensam um ou mais resultados ruins em outros. Outra característica

do ELECTRE é que ele permite a incomparabilidade, ou seja, quando não há evidência clara a favor de algum tipo de preferência ou indiferença entre alternativas distintas. Pois, considerando um problema de decisão entre as alternativas a , b e c , por exemplo, sabendo que a alternativa a é melhor do que b e que a é melhor do que c , torna-se irrelevante analisar as preferências entre as alternativas b e c . Estas duas ações podem perfeitamente permanecer incomparáveis, sem degenerar o procedimento de suporte à decisão. Assim, a ideia básica, nessa família de métodos, consiste na ênfase da análise das relações de dominância.

Segundo de Almeida (2013), os métodos da família ELECTRE são aplicados em duas fases principais: construir uma relação de sobreclassificação, estabelecendo uma comparação par a par de alternativas e explorar a relação, aplicando um procedimento para resolver o problema em função da problemática específica a ser abordada.

Os métodos ELECTRE consideram os pesos como uma medida da importância que cada critério tem para o decisor, e não como uma taxa marginal de substituição, visto que as avaliações de cada alternativa nos diferentes critérios não se reúnem em uma avaliação global.

2.2. MÉTODO AHP

O método AHP permite a tomada de decisão de forma subjetiva. O AHP baseia-se no método newtoniano-cartesiano, cuja ideia é compreender a complexidade de um todo pela fragmentação em níveis mais baixos e detalhados possíveis, estabelecendo relações sintetizadas (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009).

Segundo Costa (2002), o método pode ser dividido em três fases: construção de hierarquias, definição de prioridades e consistência lógica. A construção de hierarquias permite a compreensão global e avaliação na visão sistêmica do problema com todos os componentes e as interações existentes. A estruturação em níveis hierárquicos é feita pela separação, em geral, em três níveis básicos: o primeiro nível é definido como o propósito geral da análise, tendo-se como exemplo, a escolha de uma plataforma que proporcione o embarque de tropa; o segundo nível hierárquico contempla os critérios estabelecidos; e o terceiro nível, as alternativas disponíveis (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009).

Na fase de definição de prioridades, são realizados julgamentos paritários para sintetização das relações entre os critérios e alternativas. Os elementos de determinado nível da

hierarquia são julgados par a par sob a luz de um elemento do nível anterior (TREVIZANO, 2005), segundo a Escala Fundamental de Saaty (1991), conforme a Tabela 1.

Por último, na fase de consistência lógica, é verificada a coerência entre as relações das fases anteriores, no quais o método AHP se propõe a calcular a consistência dos julgamentos e esta é considerada aceitável quando a Razão de Consistência (RC) é igual ou menor que 0,1, representando uma variação de até 10%, pois mesmo quando os julgamentos paritários estão fundamentados na experiência e conhecimento de especialistas, podem ocorrer inconsistências,

Tabela 1. Escala fundamental de Saaty.

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Pouco mais importante	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Muito mais importante	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Bastante mais importante	Uma atividade é muito favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8 Valores recíprocos dos anteriores	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (1991).

principalmente para o caso de existência de um elevado número de julgamentos.

Cabe ressaltar que durante o desenvolvimento do método AHP, Saaty (1990) considerou os experimentos realizados nos anos 1950, pelo psicólogo George Miller, o qual identificou que de uma forma geral, as pessoas processam adequadamente informações contendo poucos fatos, da ordem de sete com desvio padrão de duas unidades, estando em harmonia com a estabilidade do autovalor principal para pequenas perturbações quando n é pequeno.

No estudo de caso apresentado neste trabalho, a quantidade de critérios avaliados ultrapassou o limite psicológico citado, ao fazer uso de 11 critérios, em virtude das necessidades operacionais das plataformas analisadas. Assim, utilizou-se a abordagem do AHP com *ratings* (SAATY, 2008), que considera a realização da avaliação em categorias, com base em níveis de intensidade atribuídas para cada critério relacionado à cada alternativa, ao invés da abordagem clássica.

3. ESTUDO DE CASO

Para esse estudo, foram selecionadas seis plataformas operacionais de diferentes fabricantes, das quais quatro atenderam plenamente e duas parcialmente, a um documento elaborado pelo CFN, denominado Requisitos de Alto Nível de Sistemas (RANS), que descreve as características técnicas

necessárias para o emprego dessas plataformas. Com base nos dados extraídos do RANS, foi possível elaborar um mapa conceitual no qual se estabeleceu os critérios mais relevantes que influenciam no desempenho operacional dessas plataformas quando em cumprimento de suas missões. A Figura 1 apresenta o esboço do mapa conceitual desenvolvido, no qual foi estabelecida a ponderação para cada critério. Por exemplo, ao se comparar o critério peso bruto das seis plataformas, a melhor será aquela que possuir menor valor absoluto. Por outro lado, ao se comparar o critério autonomia, o maior valor absoluto será privilegiado.

Baseado no mapa conceitual, foram identificados 12 critérios para a escolha da plataforma desejada, salientando que o critério expectativa de vida foi retirado do processo, já que possui o mesmo valor para todas as seis plataformas em estudo, resultando em 11 critérios a serem analisados como um problema de Apoio Multicritério à Decisão, que conforme a Tabela 2, tiveram seus valores expostos e abaixo definidos.

- Proteção Balística (Bld): Tecnologia utilizada em plataformas militares para proporcionar proteção pessoal contra impacto balísticos, segundo a norma STANAG 4569 OTAN. Seus valores variam entre os níveis de proteção 1 a 4;
- Guarnição (GU): Para fins do presente artigo, o termo guarnição compreende a guarnição da plataforma propriamente dita, acrescida da quantidade de militares que podem embarcar;

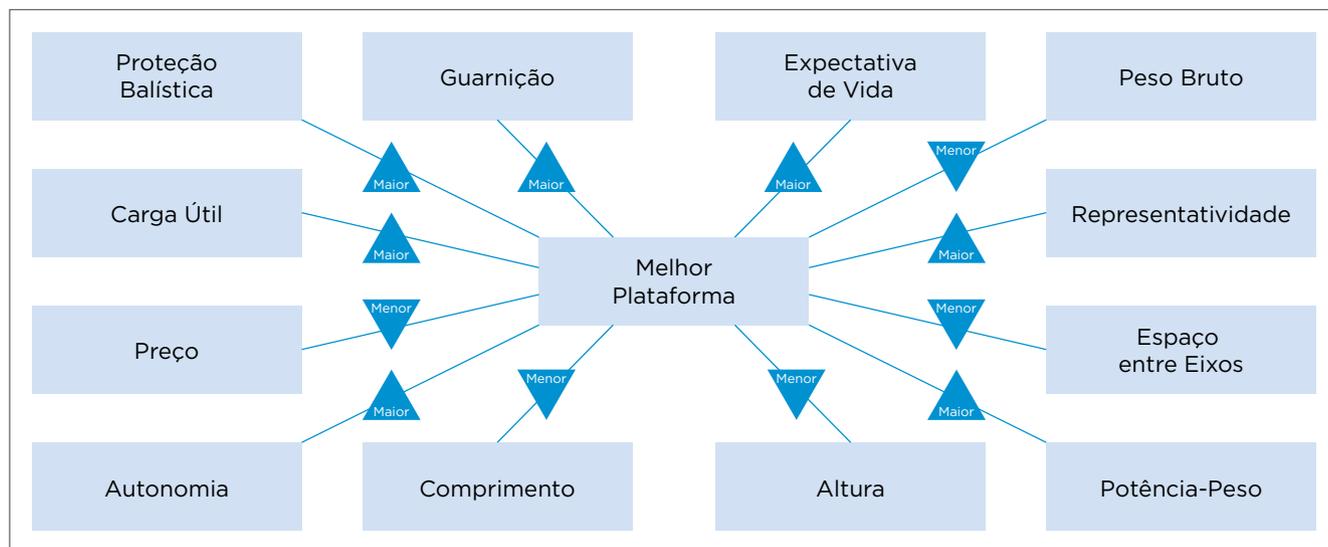


Figura 1. Mapa conceitual dos critérios que definirão a melhor plataforma a ser escolhida.

- Expectativa de Vida (Exp): Tempo em anos que a plataforma será empregada em atividades operacionais. Para este trabalho, todas as alternativas apresentaram um ciclo de vida útil de 20 anos;
- Peso Bruto (PB): Carga em quilograma (kg) do somatório da carga útil acrescido do peso da plataforma;
- Representatividade (Rep): Quantidade de países que possuem a plataforma em operação;
- Espaço entre Eixos (EE): Distância horizontal em milímetros (mm), na direção do eixo transversal da plataforma entre os centros das rodas dianteira e traseira;
- Potência-Peso (PP): Relação entre o peso da plataforma, em quilograma (kg), e a potência máxima do seu motor em cavalo-vapor (cv). A unidade é kg/cv;
- Altura (Alt): Distância em metros (m) na direção do eixo vertical da plataforma, entre as suas partes mais extremas;
- Comprimento (Comp): Distância horizontal em metros (m), na direção do eixo longitudinal da plataforma, entre as suas partes mais extremas;
- Autonomia (Aut): Máxima distância em quilômetros (km) que a plataforma pode percorrer, sob condições definidas, sem necessidades de reabastecimento;
- Preço (Pr): Custo de aquisição da plataforma em milhares de dólares;
- Carga Útil (CU): Carga, em quilograma (kg), possível de ser transportado no interior da plataforma, incluindo a guarnição, equipamentos, munições, armamento e outros acessórios necessários para o cumprimento das atividades.

3.1. METODOLOGIA ADOTADA

Este estudo propõe utilizar o método AMD ELECTRE III em conjunto com o método AHP para selecionar uma plataforma operativa que melhor atenda ao cumprimento das missões de um GptOpFuzNav. Durante a seleção da plataforma, foi desejável que ela apresente desempenho equilibrado em todos os critérios avaliados, isto é, não seja mal avaliada em nenhum item, parâmetro fundamental para a característica expedicionária do CFN, em virtude da falta de conhecimento prévio das condições do terreno que envolverão as futuras operações. Neste contexto, justifica-se a utilização do método ELECTRE III em função de sua característica única não compensatória entre os critérios estabelecidos.

Apesar de o equilíbrio de desempenho entre os critérios ser desejável, também é verdade que, por ser uma plataforma de uso exclusivamente militar, algumas características podem admitir compensação entre os critérios, como ocorre com a proteção blindada e carga útil, uma vez que uma plataforma para cumprir uma missão específica precisa se valer de proteção blindada adequada contra as ameaças inimigas previstas, bem como transportar um mínimo de carga, incluindo a quantidade de militares, seus equipamentos e armamentos. Decidiu-se utilizar também o método AHP por possuir critério único de síntese, admitindo a compensação entre critérios. Por fim, foi realizada a análise dos resultados obtidos pelos dois métodos AMD como forma de apresentar à autoridade decisória uma escolha representativa.

Tabela 2. Relação das plataformas com os valores de cada critério.

	Plataforma 1	Plataforma 2	Plataforma 3	Plataforma 4	Plataforma 5	Plataforma 6
Blindagem	3	4	3	2	2	3
Carga Útil	2.109	2.000	2.200	1.043	1.500	2.200
Guarnição	8	9	10	4	5	5
Preço	550	550	550	300	550	1.300
Autonomia	550	700	1.000	466	500	700
Comprimento	5,3	6,0	5,5	4,5	5,3	5,4
Altura	2,3	2,3	2,1	1,8	2,1	2,0
Peso-Potência	36,40	30,16	19,72	34,61	29,92	29,40
Espaço entre Eixos	2.946	3.570	3.790	3.300	3.230	3.530
Peso Bruto	8.845	12.000	10.900	5.488	8.100	8.500
Representatividade	10	3	9	31	6	3

3.2. UTILIZAÇÃO DO MÉTODO ELECTRE III

Antes da avaliação dos critérios, foi elaborada uma escala verbal e seus respectivos valores numéricos, apresentados na Tabela 3, cuja construção de hierarquias é considerada uma etapa fundamental do processo de raciocínio humano. A elaboração da tabela em questão, foi necessária, pois o método ELECTRE III permite a utilização de escalas verbais e valores numéricos distintos, diferentemente do método AHP que utiliza julgamento paritário entre critérios, utilizando a escala de hierarquia padronizada, conforma a Tabela 1, apresentada anteriormente. Assim, os critérios foram avaliados segundo o grau de importância estabelecido pela escala de preferência da Tabela 3 por 10 especialistas (Esp) das plataformas em

Tabela 3. Valores de preferências.

Escala Verbal	Valores Numéricos
Importância absolutamente fraca	1
Importância extremamente fraca	2
Importância fraca	3
Muito Pouco Importante	4
Pouco Importante	5
Importância Moderada	6
Importância Relevante	7
Muito Importante	8
Extrema Importância	9
Importância Absoluta	10

estudo, em que cada um atribuiu um valor para cada critério, conforme mostrado na Tabela 4.

Foram então calculadas as medianas para cada critério e, juntamente com as características técnicas de cada plataforma (alternativa), foram inseridas no *software* ELECTRE III para realizar a simulação. Para esse estudo não foram considerados nenhum limiar de indiferença nem de preferência, em virtude que posteriormente usou-se o método AHP que realiza a compensação entre os critérios.

Baseado nos dados inseridos, o *software* ELECTRE III apresentou a seguinte relação de preferência entre as alternativas, conforme ilustrado na Figura 2.

Com base na relação de preferência, pode-se notar que a plataforma 3 supera todas as outras. Na sequência, observa-se que não há preferência entre as plataformas 1 e 6. Também pode-se notar que as plataformas 2 e 4 não puderam ser comparadas na ordem de preferência, porém encontram-se abaixo das plataformas 1 e 6. Na última posição aparece a plataforma 5. A matriz de pré-ordem final, ilustrada na Tabela 5, demonstra o grau de preferência entre as alternativas, indicando as relações da seguinte forma:

- I: Indiferença;
- P': Preferência fraca;
- P: Preferência forte;
- R: Impossibilidade de comparação.

A análise da matriz de pré-ordem final e o grafo de prioridades decrescente da Figura 2 apresentam a seleção da Plataforma 3 como a mais indicada, uma vez que tem preferência sobre

Tabela 4. Atribuição de valores aos critérios pelos especialistas (Esp.).

	Esp. 1	Esp. 2	Esp. 3	Esp. 4	Esp. 5	Esp. 6	Esp. 7	Esp. 8	Esp. 9	Esp. 10
Blindagem	10	10	9	9	10	8	10	10	10	10
Carga Útil	7	10	9	7	5	7	10	10	8	8
Potência x Peso	10	6	9	9	9	9	7	5	8	9
Autonomia	9	5	10	8	8	8	8	5	9	8
Preço	7	10	10	6	10	5	7	6	8	7
Guarnição	9	6	8	8	5	7	7	6	7	8
Peso Bruto	8	3	5	10	5	6	5	7	9	10
Altura	7	6	6	7	7	7	9	5	6	8
Espaço entre Eixos	5	3	5	8	9	7	7	8	6	10
Comprimento	8	6	4	6	5	7	7	8	6	7
Representatividade	6	3	7	7	3	7	8	6	10	6

todos as outras plataformas. Observando ainda a Tabela 4, pode-se constatar que essa plataforma obteve a preferência, mesmo sem possuir o maior valor para o critério blindagem, entretanto, observa-se que na média, essa plataforma possui boas características técnicas para os sete critérios mais bem pontuados, como é o caso da carga útil, autonomia e guarnição. Isso demonstra que o método ELECTRE III considera, segundo as características das plataformas aliadas aos valores atribuídos pelos especialistas para os critérios elencados, que a plataforma 3 será a que melhor atenderá ao cumprimento de suas missões com maior confiabilidade e equilíbrio.

3.3. UTILIZAÇÃO DO MÉTODO AHP

Como foi mencionado anteriormente, usou-se o método AHP a fim de verificar a hierarquia entre as plataformas

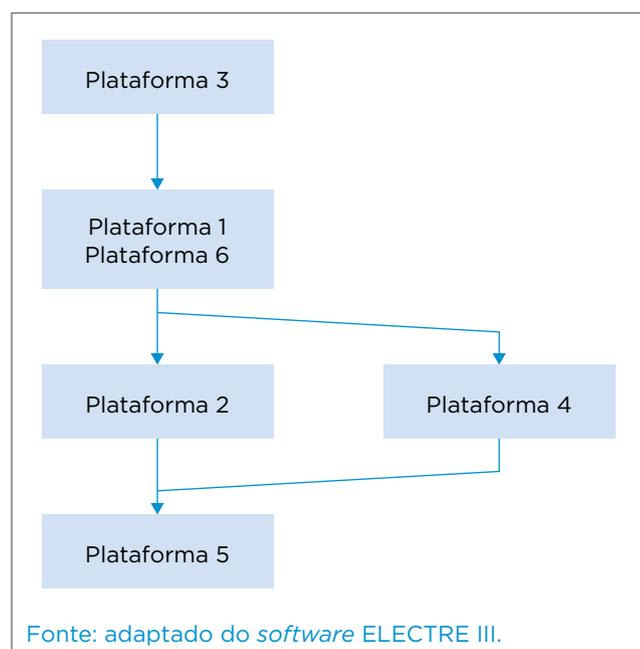


Figura 2. Relação de preferência entre as alternativas.

Tabela 5. Matriz de pré-ordem final.

	Plataforma 1	Plataforma 2	Plataforma 3	Plataforma 4	Plataforma 5	Plataforma 6
Plataforma 1	I	P	P'	P	P	I
Plataforma 2	P'	I	P'	R	P	P'
Plataforma 3	P	P	I	P	P	P
Plataforma 4	P'	R	P'	I	P	P'
Plataforma 5	P'	P'	P'	P'	I	P'
Plataforma 6	I	P	P'	P	P	I

em estudo e comparar o resultado com o obtido no método ELECTRE III. Apesar de essa prática não ser comum, optou-se por fazê-la, já que as plataformas em estudo, para serem bem escolhidas além de possuírem bom desempenho em todos os critérios, também precisam possuir algumas características em que um ou outro critério com menor relevância possa ser compensado por outro com alta relevância, como é o caso dos critérios blindagem e carga útil, que são necessidades imprescindíveis que a plataforma escolhida possua, respectivamente, para se opor às ameaças do poder de fogo que a força opositora detém e para transportar todo efetivo de militares, seus equipamentos e armamentos para cumprir a missão.

Para o uso do método AHP extraiu-se a uma matriz semelhante à Tabela 2, que pode ser identificada como Matriz de decisão, na qual a primeira coluna corresponde aos critérios e as seis linhas seguintes às plataformas alternativas. Cada célula corresponde a uma alternativa de plataforma classificada no seu respectivo critério.

Para realizar a comparação paritária entre os critérios, a Matriz de decisão teve todos os seus valores normalizados em cada critério, conforme mostrado na Tabela 6, dispensando a criação de matrizes de julgamento entre as alternativas, já que todos os critérios possuem níveis de intensidade quantitativo. A fim de possibilitar a utilização das opiniões dos especialistas apresentadas na Tabela 4, os 11 critérios elencados foram comparados dois a dois, utilizando a diferença entre as medianas dos valores atribuídos pelos 10 especialistas para cada critério. Para isso foi criada a Tabela 7 que permite a interpolação entre essas diferenças, a fim de viabilizar a realização do julgamento paritário entre os critérios, conforme a escala de Saaty para o método AHP.

Dessa forma, quando a diferença das medianas entre dois critérios comparados for igual a 1,0, por exemplo, o grau de

Tabela 6. Matriz de decisão normalizada.

	Plataforma 1	Plataforma 2	Plataforma 3	Plataforma 4	Plataforma 5	Plataforma 6	SOMA
Blindagem	0,1765	0,2353	0,1765	0,1177	0,1177	0,1765	1
Carga Útil	0,1908	0,1809	0,1991	0,0944	0,1357	0,1991	1
Guarnição	0,1951	0,2195	0,2439	0,0977	0,1219	0,1219	1
Preço	0,1447	0,1447	0,1447	0,0789	0,1447	0,3422	1
Autonomia	0,1404	0,1788	0,2554	0,1189	0,1277	0,1788	1
Comprimento	0,1656	0,1875	0,1719	0,1406	0,1656	0,1688	1
Altura	0,1825	0,1825	0,1667	0,1429	0,1667	0,1587	1
Peso-Potência	0,2020	0,1674	0,1094	0,1921	0,1660	0,1631	1
Espaço entre Eixos	0,1447	0,1753	0,1861	0,1620	0,1586	0,1733	1
Peso Bruto	0,1643	0,2229	0,2025	0,1019	0,1505	0,1579	1
Representatividade	0,1613	0,0484	0,1452	0,5000	0,0967	0,0484	1

juízo paritário entre eles corresponderá ao valor 3 na escala fundamental de Saaty, apresentada na Tabela 1.

Entretanto, para a análise comparativa entre as alternativas não foi utilizada decisão em grupo, em virtude de os níveis de intensidade dos critérios terem sido atribuídos quantitativamente.

A Tabela 8 mostra a construção da Matriz de ponderações (juízos) segundo a metodologia abordada. Ao se realizar as comparações paritárias entre os critérios, nota-se que o maior valor de juízo foi 7 (bastante mais importante) na Escala fundamental de Saaty quando foram comparados à blindagem da plataforma com o comprimento e representatividade, significando que o primeiro possui um grau de importância muito maior que os outros dois. Além disso, constatou-se também que a blindagem, a potência-peso e a carga útil são os critérios que mais predominam sobre os outros.

Ao inserir os dados característicos das plataformas com seus respectivos valores de juízo paritário, obteve-se o vetor prioridade dos critérios, conforme a Tabela 9.

Ao multiplicar a matriz de decisão normalizada (Tabela 6) pelo vetor prioridade (Tabela 9), encontrou-se o seguinte resultado de classificação hierárquica entre as plataformas analisadas, conforme mostrado na Tabela 10.

Dessa forma, constatou-se que com a aplicação do método AHP a Plataforma 2 foi classificada como a melhor alternativa para aquisição. Esse resultado era esperado, já que essa plataforma possui um peso muito forte em relação às outras nos critérios blindagem, potência-peso e carga útil. Além

Tabela 7. Atribuição dos juízos para inserção no Análise Hierárquica (AHP).

Diferença entre as medianas dos pesos	Valor do juízo
0 a 0,25	1
0,26 a 0,50	2
0,51 a 1,0	3
1,01 a 1,50	4
1,51 a 2,25	5
2,26 a 3,0	6
3,01 a 5,00	7
5,01 a 7,0	8
>7,0	9

disso, observa-se que as plataformas 4 e 5 foram as piores alternativas, em virtude de possuírem pesos baixos nos critérios blindagem e carga útil.

Cabe ressaltar que apesar das plataformas 1, 3 e 6 terem sido classificadas, respectivamente, na terceira, na quarta e na segunda posição, a diferença percentual entre elas foi muito pequena, na casa de milésimos, podendo considerar um empate técnico dessas plataformas na segunda posição.

3.3.1. Análise da razão de consistência

A razão de consistência da matriz de ponderações é encontrada pela razão entre o índice de consistência (IC) e o índice de consistência aleatório (RI).

Para encontrar o IC da matriz de ponderações, calculou-se o maior autovetor da matriz de ponderações $\lambda_{m\acute{a}x}$, considerando a soma do produto dos valores do vetor prioridade de cada critério pela soma total de cada coluna da matriz de ponderações (Equação 1).

$$\begin{aligned} \lambda_{m\acute{a}x} = & (0,304358 \times 2,83) + (0,199817 \times 5,967) + \\ & (0,120965 \times 12,082) + (0,108054 \times 14,082) + \\ & (0,046274 \times 22,5) + (0,046274 \times 22,5) + \\ & (0,046274 \times 22,5) + (0,046274 \times 22,5) + \\ & (0,027236 \times 32) + (0,027236 \times 32) + \\ & (0,027236 \times 32) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 11,8161$$

OIC é calculado por meio da seguinte expressão (Equação 2):

$$IC = (\lambda_{m\acute{a}x} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

Em que:

n = o número de critérios da matriz.

Portanto, o valor encontrado do IC foi de (Equação 3):

$$\begin{aligned} IC &= (11,8161 - 11) / (11 - 1) \\ IC &= 0,08161 \end{aligned} \quad (3)$$

Saaty (1991) propôs uma tabela com os índices de consistência aleatórios (RI) nas matrizes de ordens 1 a 15 calculados em laboratório, conforme mostrado na Tabela 11.

Fazendo a relação entre o IC/RI, chega-se à razão de consistência da matriz de ponderações entre os critérios.

$$RC = 0,08161/1,51$$

$$RC = 0,0540$$

Tabela 9. Vetor prioridade dos critérios.

1º	Blindagem	0,304358
2º	Potência-Peso	0,199817
3º	Carga Útil	0,120965
4º	Autonomia	0,108054
5º	Preço	0,046274
6º	Guarnição	0,046274
7º	Espaço entre Eixos	0,046274
8º	Altura	0,046274
9º	Peso Bruto	0,027236
10º	Representatividade	0,027236
11º	Comprimento	0,027236

Tabela 10. Hierarquia entre as plataformas.

Classificação	Plataforma	Desempenho global
1º	Plataforma 2	0,1922
2º	Plataforma 6	0,1767
3º	Plataforma 1	0,1766
4º	Plataforma 3	0,1757
5º	Plataforma 4	0,1410
6º	Plataforma 5	0,1378

Tabela 8. Matriz de ponderações.

	Bld	CU	GU	Pr	Aut	Comp	Alt	PP	EE	PB	Rep
Bld	1	5	6	6	5	7	6	3	6	7	7
CU	0,2	1	3	3	3	4	3	0,333	3	4	4
GU	0,167	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
Pr	0,167	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
Aut	0,2	1	3	3	1	4	3	0,333	3	4	4
Comp	0,143	0,25	0,5	0,5	0,25	1	0,5	0,167	0,5	1	1
Alt	0,167	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
PP	0,333	3	5	5	3	6	5	1	5	6	6
EE	0,167	0,333	1	1	0,333	2	1	0,2	1	2	2
PB	0,143	0,25	0,5	0,5	0,25	1	0,5	0,167	0,5	1	1
Rep	0,143	0,25	0,5	0,5	0,25	1	0,5	0,167	0,5	1	1
Total	2,83	12,082	22,5	22,5	14,082	32	22,5	5,967	22,5	32	32

Esse resultado é bastante aceitável, já que é menor que 0,1. O mesmo raciocínio foi utilizado para o cálculo das RC entre as alternativas para cada critério, ficando no limite aceitável.

3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos pelas aplicações dos dois métodos utilizados neste estudo foram consolidados na Tabela 12, já considerando o empate técnico ocorrido no método AHP entre as plataformas 1, 3 e 6, citado anteriormente, em que pode ser observado que a plataforma 3 foi predominante com o método ELECTRE III e em segunda posição no AHP. A plataforma 2, por sua vez, foi predominante no AHP e em terceira posição no ELECTRE III. A plataforma 6 obteve a segunda posição em ambos os métodos, assim como a plataforma 1. Quanto à plataforma 4 obteve a quarta prioridade no ELECTRE III e a quinta no AHP, enquanto a plataforma 5 ficou na sexta e última prioridade em ambos os métodos.

Com base nos resultados da Tabela 12, pode-se verificar que as plataformas 4 e 5 apresentaram classificação de predominância abaixo das demais em ambos os métodos, podendo ser consideradas como alternativas a serem descartadas para a aquisição, pois, além de não terem sido bem classificadas no emprego de ambos os métodos AMD, atenderam apenas parcialmente a alguns dos requisitos elencados no RANS. Assim, restaram as plataformas 1, 2, 3 e 6 a serem analisadas.

Nesse contexto, nota-se que as plataformas 2 e 3 obtiveram predominância no AHP e ELECTRE III, respectivamente. Pode-se concluir então que a plataforma 3 apresenta

desempenho mais equilibrado entre os 11 critérios ponderados no estudo, em virtude da característica não compensatória do método ELECTRE III. Já o resultado obtido pela plataforma 2, no AHP, foi o esperado, por possuir compensação muito forte em relação ao critério blindagem, que foi o com maior peso obtido no vetor prioridade. As plataformas 1 e 6, por sua vez, não podem ser descartadas, pois obtiveram convergência na segunda posição hierárquica em ambos os métodos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por suas características expedicionárias, o CFN necessita possuir plataformas que lhe proporcionem o emprego dos GptOpFuzNav em diferentes cenários de operação. Assim, antes da decisão final, a autoridade decisória precisa definir se prevalece a necessidade de uma solução equilibrada, característica do método ELECTRE III, ou uma decisão compensatória hierarquizada pelo método AHP, para as alternativas em que os dois métodos utilizados não apresentaram convergência, sob pena de se selecionar uma plataforma que não seja a que melhor atenda às necessidades do CFN.

Neste contexto, a aproximação utilizada por meio das médias de cada critério que serviram como peso para o método ELECTRE III e empregadas para a ponderação paritária entre os critérios com base no método AHP, atingiu o seu propósito de auxiliar o processo decisório, pois, entre as alternativas das seis plataformas de interesse selecionadas inicialmente por

Tabela 11. Índice de consistência aleatória.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57

Fonte: Saaty (1991).

Tabela 12. Resultado comparativo dos métodos ELECTRE III e Análise Hierárquica (AHP).

	Plataforma 1	Plataforma 2	Plataforma 3	Plataforma 4	Plataforma 5	Plataforma 6
1º	-	AHP	ELECTRE	-	-	-
2º	ELECTRE/AHP	-	AHP	-	-	ELECTRE/AHP
3º	-	ELECTRE	-	-	-	-
4º	-	-	-	ELECTRE	-	-
5º	-	-	-	AHP	-	-
6º	-	-	-	-	ELECTRE/AHP	-

cumprirem as características mínimas estabelecidas nos requisitos de alto nível de sistemas, foi identificado que as plataformas 4 e 5 obtiveram as piores classificações entre as demais, em ambos os métodos, podendo ser descartadas.

Por outro lado, a plataforma 3 obteve a preferência com o método ELECTRE III, enquanto a plataforma 2 foi a melhor hierarquizada com a utilização do método AHP. Além disso, as plataformas 1 e 6, apesar de não terem obtido a preferência em nenhum dos métodos abordados, obtiveram a segunda posição de preferência em ambos os métodos.

Cabe ressaltar que os valores dos julgamentos estabelecidos empiricamente pelos autores, apresentados na Tabela 7, tiveram como propósito permitir a exequibilidade de utilização dos métodos ELECTRE III e AHP, podendo ser substituída por outra desenvolvida em uma abordagem paramétrica, como um processo de melhoria contínua.

Por fim, este trabalho não teve por objetivo comparar os dois métodos, mas sim auxiliar o processo de decisão com base no aproveitamento das características específicas de cada método e identificar as possíveis convergências.

REFERÊNCIAS

- BANA E COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. Thoughts on a theoretical framework for measuring attractiveness by categorical based evaluation technique (MACBETH). In: CLÍMACO, J.C.N. (Org). *Multicriteria Analysis*. Berlim: Springer-Verlag, 1997.
- BANA E COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. Uma nova abordagem ao problema da construção de uma função de valor cardinal: MACBETH. *Investigação Operacional*, v. 15, p. 15-35, 1995.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B.; VINCKE, P.H. PROMETHEE: a new family of outranking methods in MCDM. In: BRANS, J.P. (org.). *Operational Research*. Amsterdã: IFORS'84, 1984. p. 477-490.
- COSTA, H.G. *Introdução ao método de análise hierárquica*. Rio de Janeiro, 2005. 104 p. Notas de aula.
- COSTA, H.G. *Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão*. Niterói: H.G.C., 2002.
- DE ALMEIDA, A.T. de. *Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério*. São Paulo: Atlas, 2013.
- GOMES, E.G. *Integração entre Sistemas de Informação Geográfica e Métodos Multicritério no Apoio à Decisão Espacial*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.
- GOMES, L.F.A.M. *TODIM: A System for the Evaluation of Public Transportation Projects*. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 1987. n. 24. 16 p.
- KAYA, T.; KAHRAMAN, C. An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment. *Expert Systems with Applications International Journal*, v. 38, n. 7, p. 8553-8562, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.057>
- MARINS, C.S.; SOUZA, D.O.; BARROS, M.S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41., 2009. *Anais [...]*. 2009.
- ROY, B. Classement et choix en presence de points de vue multiple: La methode ELECTRE. *R.I.R.O.*, v. 2, n. 8, p. 57-75, 1968. <https://doi.org/10.1051/ro/196802V100571>
- ROY, B. Decision science or decision-aid science? *European Journal of Operational Research*, v. 66, n. 2, p. 184-203, 1993. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)90312-B](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90312-B)
- ROY, B. ELECTRE III: Un algorithme de classements fonde sur une representation floue des preferences en presence de criteres multiples. *Cahier du CERO*, v. 20, n. 1, p. 3-24, 1978.
- ROY, B. The Outranking Approach and the Foundation of ELECTRE Methods. *Theory and Decision*, v. 31, p. 49-73, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF00134132>
- ROY, B.; SKALKKA, J.M. *ELECTRE IS: Aspects methologiques et guide d'utilisation*. LAMSADE, n. 30, 1984.
- SAATY, T.L. *Decision making for leaders*. Pittsburg: University of Pittsburg, 1991.
- SAATY, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008. <https://dx.doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- SAATY, T.L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- SAATY, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. Nova York: McGraw-Hill, 1980.
- SEVKLI, M. An application of the fuzzy ELECTRE method for supplier selection. *International Journal of Production Research*, v. 48, n. 12, p. 3393-3405, 2010. <https://doi.org/10.1080/00207540902814355>
- TREVIZANO, W.A.; Freitas, A.P. Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. *Anais [...]*. Porto Alegre, 2005.

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO SAPEVO-M COM PARÂMETROS DO MODELO SCOR 12.0 PARA RANQUEAMENTO DOS FORNECEDORES EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE MATERIAL HOSPITALAR DA MARINHA DO BRASIL

Use of the sapevo-m method with parameters of the scor 12.0 Model for ranking of suppliers in a supply chain of hospital material of the Brazilian Navy

Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros Teixeira¹,
Priscilla Cristina Cabral Ribeiro², Carlos Francisco Simões Gomes³, Marcos dos Santos⁴

Resumo: O estudo do gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS) pode resultar em benefícios para todas as partes envolvidas. Uma ferramenta comumente utilizada nas análises das cadeias de suprimento (CS) é o *Supply Chain Operations Reference* (SCOR), um modelo de diagnóstico de referência para todas as etapas de uma cadeia. Uma CS de material hospitalar, por sua vez, possui particularidades que a diferenciam de outras áreas da indústria e do comércio. Este trabalho propõe uma avaliação de fornecedores de material hospitalar de uma unidade da Marinha do Brasil por meio do método ordinal multicritério de apoio à decisão *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors — Multi Decision Makers* (SAPEVO-M). O método é bastante recente e pouco explorado na literatura desta linha de pesquisa. Pesquisa na base Scopus demonstrou relativo ineditismo na correlação da cadeia de suprimento com métodos ordinais, como o SAPEVO-M utilizado neste artigo. A avaliação de fornecedores

Abstract: The study of supply chain management (SCM) can yield benefits for all parties involved. A commonly used tool in supply chain (SC) analysis is the Supply Chain Operations Reference (SCOR), which is a reference diagnostic model for all steps in a chain. A hospital SC, in turn, has particularities that set it apart from other areas of industry and commerce. This paper proposes an evaluation of health material suppliers of a Brazilian Navy unit through ordinal multi-criteria decision aid method SAPEVO-M. This method is quite recent and little explored in the literature of this research line. A search in the SCOPUS database has shown relative novelty in the supply chain correlation with ordinal methods such as SAPEVO-M used in this paper. Supplier evaluation was carried out by two experts through the SAPEVO-M online application platform called SapevoWeb. The results achieved allow an analysis of the quality of service provided by these companies, as there are no major differences

1. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense. Gerente de Projeto do Centro de Análises de Sistemas Navais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: luiz.frederico@marinha.mil.br

2. Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos. Professora Associada no Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (UFF) e Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (TPP/UFF) - Niterói, RJ - Brasil. E-mail: priscillaribeiro@id.uff.br

3. Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professor Associado no Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (UFF) e Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (TPP/UFF) - Niterói, RJ - Brasil. E-mail: cfsgl@bol.com.br

4. Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense. Gerente de Projeto do Centro de Análises de Sistemas Navais e Professor do Instituto Militar de Engenharia - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: marcos.santos@marinha.mil.br

foi realizada por dois especialistas, por meio de plataforma *on-line* de aplicação do método SAPEVO-M, denominada de SapevoWeb. Os resultados alcançados permitem análise da qualidade do serviço prestado por aquelas empresas, na medida em que não há grandes diferenças entre uma alternativa e a seguinte. Contudo, tal diferença se evidencia à medida que as mesmas se distanciam no *ranking*.

Palavras-chave: Cadeia de suprimento. *Supply Chain Operations Reference*. Métodos multicritérios de apoio à decisão. Método ordinal SAPEVO-M. Marinha do Brasil.

between one alternative and the next. However, this difference is evident as they move apart in the ranking.

Keywords: Supply chain. Supply Chain Operations Reference. Multi-criteria decision analysis. Ordinal method SAPEVO-M. Brazilian navy.

1. INTRODUÇÃO

Quando um paciente é atendido em clínica ou hospital, desconhece as necessidades para a realização daquele procedimento, por mais simples que seja. Entretanto, o processo de atendimento do paciente em hospital é apoiado por uma série de atividades operacionais, incluindo gerenciamento e distribuição de material hospitalar para os locais de atendimento (MOONS; WAEYENBERGH; PINTELON, 2019).

Embora haja problemas enfrentados pela saúde pública, as Forças Armadas conseguem manter um serviço de qualidade para atender o seu pessoal. Na Marinha do Brasil (MB) esse esforço ocorre por meio do Sistema de Saúde da Marinha (SSM). Segundo as Normas para Assistência Médico-Hospitalar da Marinha (BRASIL, 2012), o SSM é o conjunto organizado de recursos humanos, materiais, financeiros, tecnológicos e de informações destinado a prover as atividades de saúde na MB. Esse sistema atende os militares da Marinha da ativa, reserva e seus respectivos dependentes. Dados públicos do Anuário Estatístico da Marinha do Brasil (ANEMAR) (BRASIL, 2019b) apontam que a MB em 2018 possuía mais de 210 mil servidores, entre civis e militares ativos e inativos. Assim, para prover material hospitalar para esse público é necessária uma gestão eficiente da cadeia de suprimentos.

Apesar de haver na literatura estudos diversos atestando que as práticas de gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS) podem resultar em redução de custos e vantagem competitiva, as organizações de saúde têm sido demasiadamente lentas para adotar esses procedimentos (ARONSSON; ABRAHAMSSON; SPENS, 2011).

O *Supply Chain Operations Reference* (SCOR) é um modelo amplamente empregado para avaliação de desempenho das cadeias de suprimento (CS), embora tenha natureza genérica. Para Sellitto et al. (2015), quando abordado no contexto do apoio à decisão, o modelo SCOR comumente se associa ao método multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O AHP é empregado prioritariamente para resolução de uma problemática de escolha entre alternativas baseada numa estrutura hierárquica.

Neste artigo, propõe-se uma avaliação de fornecedores de material hospitalar de uma unidade da MB por meio do método ordinal multicritério de apoio à decisão *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors — Multi Decision Makers* (SAPEVO-M). Pretende-se responder à seguinte questão de pesquisa: como se podem avaliar fornecedores de material hospitalar de uma unidade da MB? A empresa foco será o Centro de Obtenção da Marinha no Rio de Janeiro (COMRJ), que consiste no maior órgão de obtenção de material para a MB, com distribuição em âmbito nacional (BRASIL, 2019c).

No presente trabalho consideram-se as métricas de desempenho do modelo SCOR como critérios de avaliação dos fornecedores da CS. A seleção desses fornecedores e sua avaliação foram realizadas por dois especialistas, por meio da plataforma *on-line* SapevoWeb (www.sapevoweb.com), específica para aplicação do método SAPEVO-M. A avaliação consiste em comparações pareadas entre os diversos critérios para a geração de pesos e entre as alternativas em cada critério para a ordenação dos fornecedores. O trabalho está dividido em cinco seções. Após a introdução, na seção 2 faz-se revisão da literatura sobre GCS e modelo SCOR e

apresenta-se, brevemente, o método SAPEVO-M. A seção 3 descreve o método de pesquisa empregado. Em seguida, a seção 4 detalha o caso particular estudado para exemplificar a proposta dos autores. A última seção apresenta as conclusões deste trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MODELO SCOR

O conceito de CS transcende a definição de logística, que, por sua vez, constata-se como estando inserida em cada componente da cadeia em questão. Segundo o Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP, 2018), “a logística seria a parte da cadeia de suprimentos que, basicamente, planeja, implementa e controla, de forma eficiente e eficaz o fluxo, armazenagem e informações de bens”. Se, anteriormente, a logística era vista como atividade de apoio, muitas vezes associada apenas a transporte e armazenagem, segundo Gomes e Ribeiro (2014), ela agrega valor às funções de serviço ao cliente, localização, administração, transporte, armazenagem e informação à cadeia produtiva.

A GCS, por sua vez, seria uma evolução da gestão da logística, que inclui valor estratégico por permitir que as empresas alcancem resultados melhores do que viriam a obter se agissem de forma individualizada. Tal esforço de coordenação permite coadministração de recursos, redução de inventários e desperdícios e maximização de lucros (COOPER; LAMBERT; PAGH; 1997). Na GCS as empresas buscariam a redução de custos operacionais, terceirizando algumas atividades e focando em suas atividades fim, nas quais podem obter diferencial (GOMES; RIBEIRO, 2014).

No estudo de cadeias, tem-se preocupação relacionada a sistemas de medição de desempenho de cadeias de suprimentos (*Supply Chain Performance Measurement Systems* — SCPMS), que permite a adoção de métricas de medição de desempenho que afetam empresas e processos diferentes (MAESTRINI et al., 2017). Segundo Galo et al. (2018), em razão de comunicação limitada entre os elos da CS, é possível se pensar que as medições são mais internas, impedindo a adoção de indicadores claros e completos para cada critério e limitando estudos e aplicações. Assim, buscando uma medição mais integrada, surgiu o modelo SCOR.

Ele foi criado por uma empresa de consultoria em 1996 e logo endossado pelo *Supply Chain Council* (SCC) como padrão entre as GCS. Essa ferramenta permite aos usuários entender os processos envolvidos em uma organização de negócios e identificar as características vitais que levam à satisfação do cliente. Em 2014 houve a fusão entre o SCC e a *American Production and Inventory Control Society* (APICS), criando-se a APICS SCC, organização sem fins lucrativos responsável por continuamente atualizar o modelo SCOR (ASCM, 2017).

O SCOR une conceitos de reengenharia de processos, *benchmarking* e aplicação das melhores práticas e permite à organização detectar oportunidades de melhorar a sua competitividade. Tal modelo vincula processos de negócios, métricas de desempenho, práticas e habilidades pessoais a uma estrutura unificada (VELYCHKO, 2015; PEÑA-OROZCO; RIVERA, 2017). O objetivo da adoção de padrões, como os fornecidos pelo modelo em questão, é possibilitar que as empresas desenvolvam e mantenham processos em suas CS que atendam a determinadas métricas de desempenho, integrando medidas de garantia de qualidade ao processo (LI; SU; CHEN, 2011). O diagnóstico apresentado pelo modelo não se restringe apenas à avaliação de desempenho financeiro das CS, mas é, também, um apoio à decisão e a outros aspectos de sustentabilidade ao longo da CS (NTABE et al., 2015). Assim como os demais modelos, o SCOR possui métricas tanto para operações internas das empresas (logística interna, armazenagem, processo), quanto outras que ultrapassam as fronteiras das empresas, englobando desde os processos de origem até os de entrega (MAESTRINI et al., 2017).

Segundo a ASCM (2017), os atributos do modelo SCOR 12.0 são:

- confiabilidade: capacidade de executar tarefas conforme o esperado, o que inclui a previsibilidade do resultado de um processo;
- responsividade: velocidade na qual se executam as tarefas e/ou se oferecem produtos aos clientes;
- agilidade: capacidade de reagir às influências externas e responder a mudanças no mercado para obter ou manter vantagem competitiva;
- custos: preço de operar os processos da CS, incluindo trabalho, material, gestão e transporte, entre outros; e
- gestão eficiente de ativos: capacidade de utilizar eficientemente ativos, incluindo redução de estoque, otimização da capacidade e terceirização.

Pesquisa na base de dados Scopus, realizada em 24 de janeiro de 2020 com as expressões *Supply Chain* e *Supply Chain Operations Reference* obteve, para o período de 2009-2020, o total de 635 documentos, dos quais 329 artigos. Pode-se observar a distribuição anual desses artigos na Figura 1.

A Figura 1 possui o desenho característico dente de serra, com uma sazonalidade cuja explicação pode estar associada ao lançamento de novos modelos. Por exemplo, houve redução no número de publicações em 2009 e aumento a partir do fim de 2010, o que coincide com o lançamento do modelo SCOR 10.0 em dezembro daquele ano. Observam-se outra queda brusca no início de 2012 e aumento significativo em 2013, provavelmente porque se lançou a versão 11.0 no fim de 2012. Em 2016 vê-se queda, com novo aumento no número de publicações a partir de 2017, ano de lançamento da versão SCOR 12.0. Em 2020, verifica-se outra queda brusca no número de publicações, porém muito provavelmente associada ao fato de os dados estarem incompletos por terem sido compilados até janeiro do corrente ano. A Tabela 1 ilustra as datas de lançamentos dos modelos SCOR mais recentes.

Como se observa na Figura 2, a China lidera as publicações nesse período, com 75 artigos, seguida pelos Estados Unidos, com 36. O Brasil aparece na terceira posição em número de publicações, contabilizando 24 artigos no período.

A liderança entre as instituições divide-se entre a chinesa Chiang Mai University e a brasileira Universidade de São Paulo (USP), que concentraram sete artigos cada uma. Outra instituição brasileira que se destaca é a Universidade

Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), que divide a segunda colocação com a National Kaoshiung University of Science & Technology, de Taiwan, com seis publicações cada uma.

A predominância chinesa também se pode constatar entre as instituições que mais publicaram, com quatro instituições entre as 13 melhores colocadas, conforme ilustra a Figura 3.

Os autores que publicaram o maior número de artigos na linha de pesquisa estão destacados na Figura 4. Verificou-se que havia somente um autor com destaque no período: o brasileiro Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti, com seis publicações, o que representa o dobro do número de publicações dos oito autores que empataram na segunda colocação.

A Figura 5 complementa essa análise com o perfil dos periódicos que tiveram mais artigos publicados no período. Observa-se, também, distribuição homogênea entre os periódicos. Cabe ressaltar que alguns apresentaram comportamento

Tabela 1. Data de lançamento dos modelos *Supply Chain Operations Reference* (SCOR).

Versão	Lançamento
SCOR 8.0	Junho / 2006
SCOR 9.0	Novembro / 2008
SCOR 10.0	Dezembro / 2010
SCOR 11.0	Dezembro / 2012
SCOR 12.0	Outubro / 2017

Fonte: ASCM (2017).

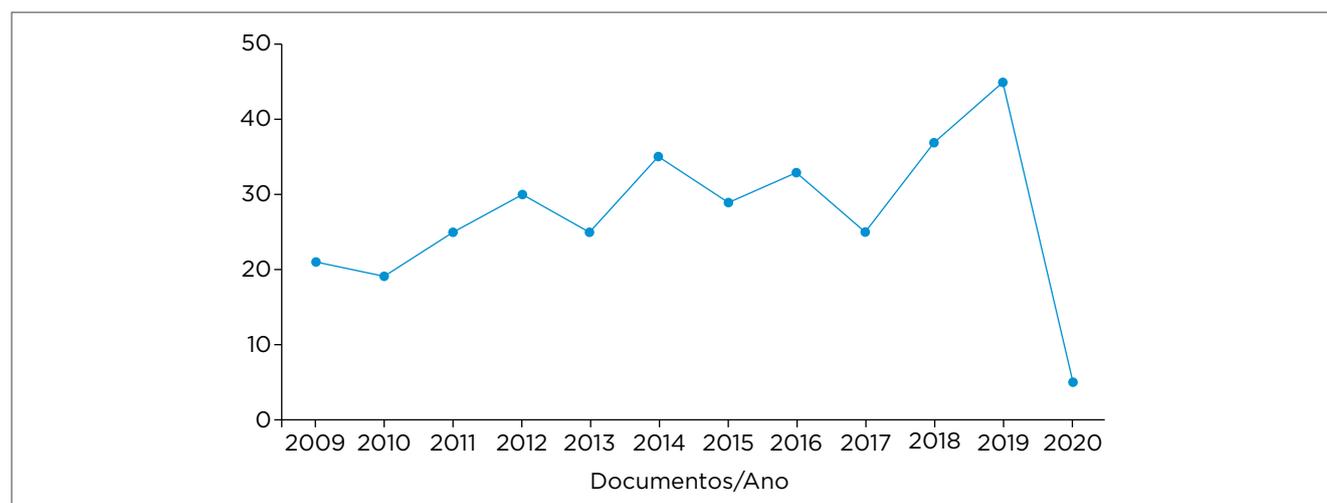


Figura 1. Publicação de artigos por ano no período 2009-2020.

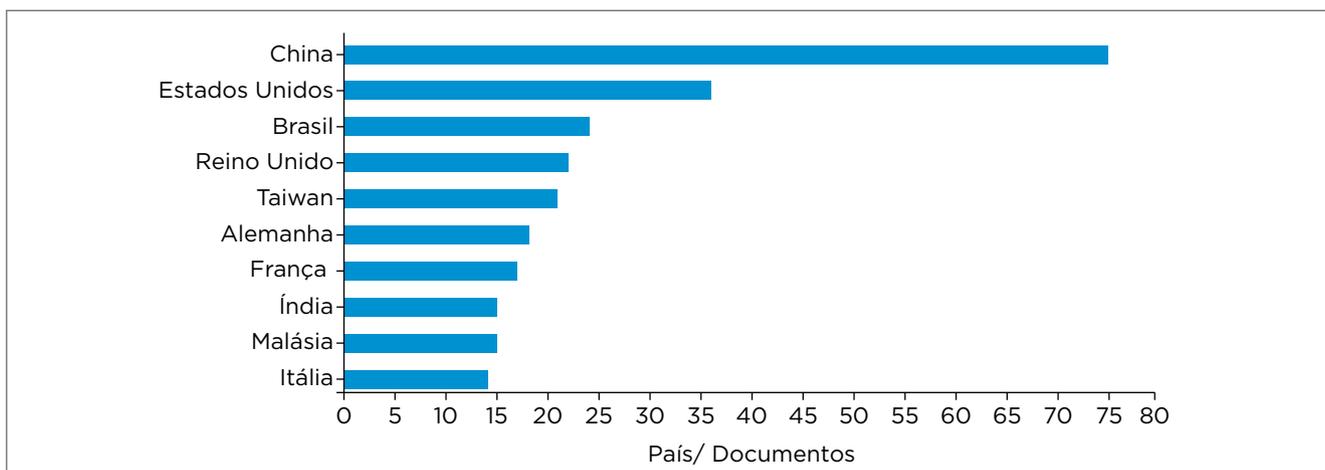


Figura 2. Distribuição dos artigos por países.

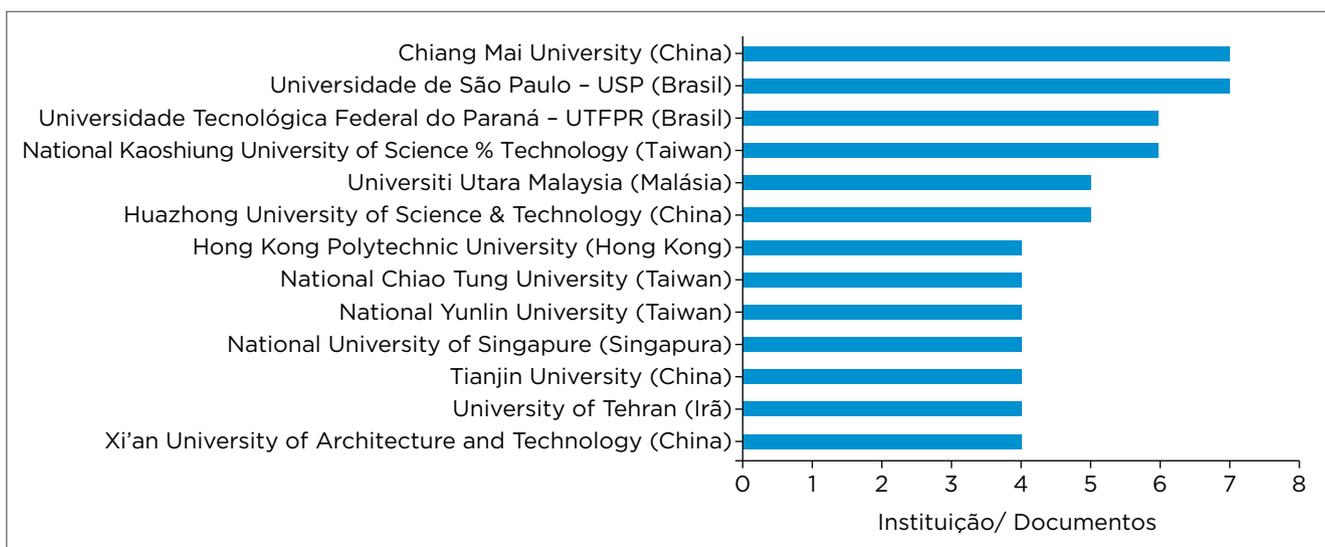


Figura 3. Distribuição dos artigos por instituições.

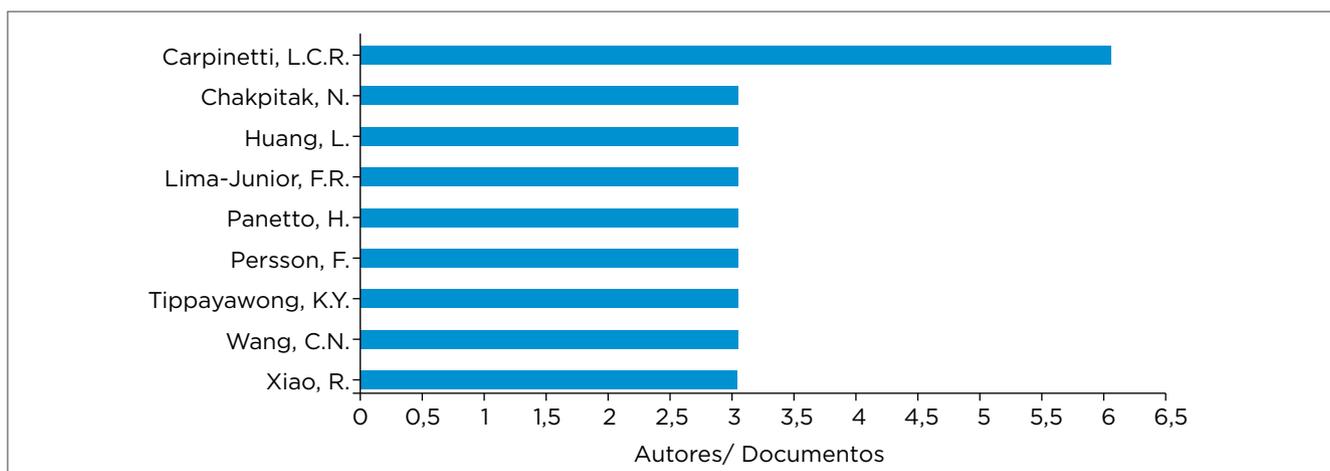


Figura 4. Distribuição dos artigos por autores.

“dente de serra” semelhante ao da distribuição anual total de artigos sobre o tema, ilustrada na Figura 1. Verifica-se, ademais, coincidência entre os períodos “de pico” em ambos os gráficos. Ou seja, após o lançamento de um novo modelo SCOR ocorre, provavelmente, um *boom* de publicações, então os periódicos são mais suscetíveis àquela novidade e o número total de artigos no ano cresce.

Durante a pesquisa na base Scopus, os autores depararam com diferentes temas relacionados ao modelo SCOR. A Tabela 2 apresenta aqueles mais relevantes em relação à pesquisa, enquanto a Figura 6 mostra um panorama geral de todos os assuntos. Os temas aparecem na tabela no idioma inglês, com a tradução livre do seu significado entre parêntesis.

O tema *Decision Sciences* é o quarto com maior número de publicações associadas, com 101 artigos, o que evidencia a relevância entre a associação de métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) e a GCS.

2.2 MÉTODO ORDINAL SAPEVO-M E PLATAFORMA SAPEVOWEB

Com o objetivo de solucionar problemas reais, a Pesquisa Operacional adota modelos lógico-matemáticos, caracterizando-se pela sua multidisciplinariedade (SANTOS et al., 2015). A abordagem multicritério de apoio à decisão pode ser caracterizada como conjunto de métodos que mostra um problema com mais clareza, e no qual as alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, que, na maioria dos casos, são conflitantes. Trata-se de técnicas de assessoramento ao agente decisor para a tomada de decisões sobre problemas

complexos, com avaliação, ordenamento ou seleção de alternativas mediante diferentes pontos de vista e de critérios predefinidos (GOMES; GOMES, 2019).

O método SAPEVO-M consiste em nova versão do método ordinal original SAPEVO (GOMES; MURY; GOMES, 1997), que possibilitava a avaliação de apenas um agente decisor. Tal versão evoluída estende o método a múltiplos agentes decisores, além de introduzir um processo de normalização das matrizes de avaliação, incrementando a consistência do modelo (TEIXEIRA; SANTOS; GOMES, 2019).

Tabela 2. Temas relacionados ao modelo *Supply Chain Operations Reference (SCOR)*.

Tema	Quantidade	Percentual
<i>Business, Management & Accounting</i> (Negócios, Gestão e Contabilidade)	166	21,6%
<i>Engineering</i> (Engenharia)	153	19,9%
<i>Computer Science</i> (Ciência da Computação)	119	15,5%
<i>Decision Sciences</i> (Ciências da Decisão)	101	13,2%
<i>Social Sciences</i> (Ciências Sociais)	45	5,9%
<i>Environmental Science</i> (Ciência Ambiental)	39	5,1%
<i>Mathematics</i> (Matemática)	28	3,7%

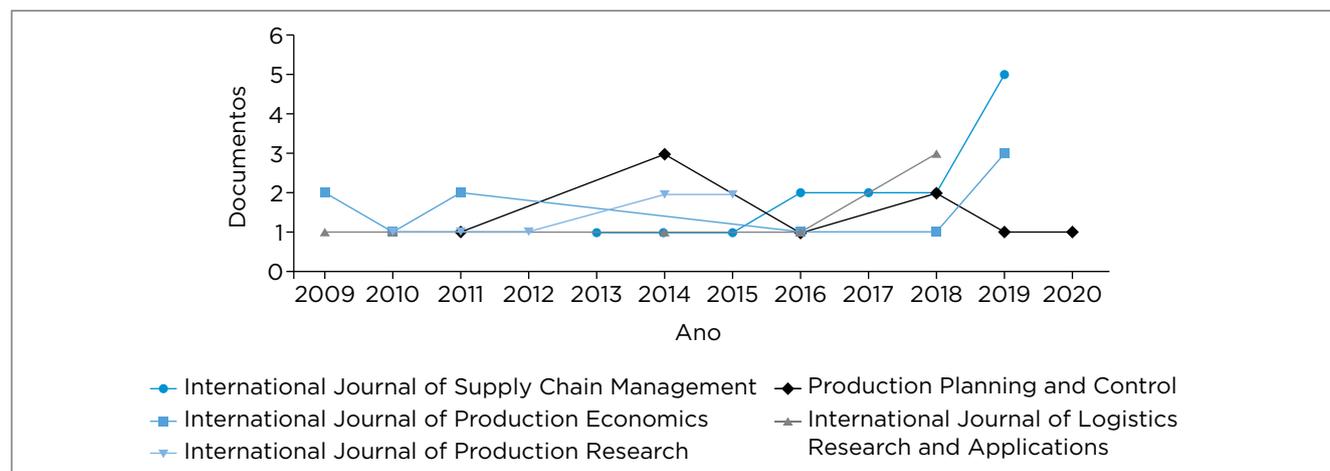


Figura 5. Distribuição dos artigos por periódicos.

Para os mesmos autores, o método SAPEVO-M consiste, basicamente, em dois processos. Primeiramente, na transformação ordinal da preferência entre critérios, expressa por um vetor que representa os pesos dos critérios. O segundo processo é a transformação ordinal da preferência entre alternativas em determinado conjunto de critérios. As informações de preferência no SAPEVO-M são denotadas por uma série de comparações pareadas entre as alternativas. A relação entre elas se expressa em uma escala de sete pontos, na qual se mensura, relativamente, a importância de cada uma. Com base na avaliação entre alternativas, obtém-se uma matriz com a representação numérica correspondente. O resultado da preferência é expresso pelo vetor resultante da multiplicação matricial entre o vetor peso dos critérios V e a matriz de avaliação das alternativas M . As alternativas são, então, ordenadas em ordem decrescente dos valores numéricos obtidos, gerando-se o *ranking* desejado.

A plataforma computacional para emprego do método SAPEVO-M denomina-se SapevoWeb e pode ser acessada pelo endereço: www.sapevoweb.com. Essa plataforma é um programa com interface gráfica amigável e que apresenta resultados em tempo computacional reduzido (TEIXEIRA; SANTOS; GOMES, 2018). O sistema SapevoWeb foi desenvolvido pelo Laboratório de Estudos de Governança, Gestão e Otimização (LEGGO), com base em parceria entre o corpo técnico do Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV), um grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia

de Produção da Universidade Federal Fluminense (UFF) e um grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia (IME).

A referida plataforma ressalta uma novidade introduzida pelo método SAPEVO-M ao expressar valores numéricos associados à ordenação por ocasião da apresentação do resultado final. Isto é, apesar de o SAPEVO-M consistir em método ordinal multicritério e multidecisor de apoio à decisão, a informação transmitida ao agente decisor não se restringe à disposição das alternativas em uma ordem. Adicionalmente, o *software* SapevoWeb permite conhecer o quanto uma alternativa ficou melhor ordenada, relativamente, do que outra (TEIXEIRA; SANTOS; GOMES, 2019).

3. MÉTODO DE PESQUISA

A presente pesquisa iniciou-se pela revisão de literatura de CS e do modelo SCOR, por meio da leitura e análise de artigos publicados na área. Os autores utilizaram a base de dados Scopus, acessada por meio do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) na internet, para consultar os artigos mais recentes e os mais citados para elaborar o referencial teórico necessário à preparação deste artigo.

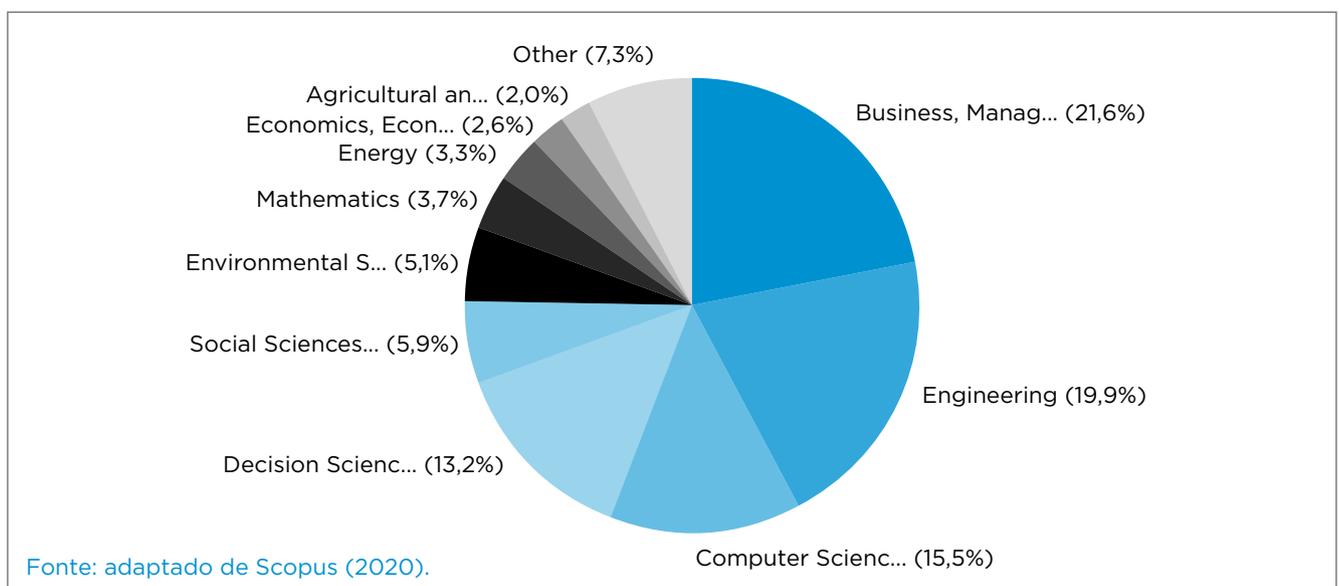


Figura 6. Distribuição dos artigos por tema.

Primeiramente, em 24 de janeiro de 2020, realizaram-se as buscas no sítio da internet da base Scopus, com as palavras-chave “Supply Chain” e “Supply Chain Operations Reference”, selecionando-se a opção “All Fields” no campo de busca desejado. Além disso, a busca limitou-se, por meio da ferramenta “Limit” da base de dados, aos artigos publicados no período entre os anos de 2009 e 2020. Nessa primeira etapa, obtiveram-se 329 artigos, que foram apresentados de acordo com o seu número de citações pela seleção da opção “Sort on: Cited By (highest)”. Na etapa posterior, apresentaram-se os artigos por data de lançamento, começando pelo mais recente, por meio da opção “Sort on: Cited By (highest)”. Os autores decidiram, alinhados ao objetivo do trabalho, a realizar levantamento estatístico sobre os 329 artigos encontrados. Esse levantamento é apresentado na seção 2. A leitura dos artigos para o alicerce teórico contou com filtragem pela leitura prévia dos títulos e, em um segundo momento, dos resumos.

Como já se explicou na seção anterior, o tema *Decision Science* destaca-se quando associado à GCS, sendo o quarto com maior número de publicações relacionadas à GCS nos últimos 10 anos. Entretanto, os autores decidiram verificar a correlação entre o modelo SCOR e os métodos de apoio à decisão multicritérios para problemas tipicamente ordinais, cujo resultado pretendido fosse o estabelecimento de um *ranking*. Pesquisa na base de dados Scopus, realizada em 24 de janeiro de 2020 com combinações duas a duas entre as expressões “supply chain operations reference” e “multicriteria

ranking”, ou “ordinal multicriteria”, ou “ordinal ranking”, obteve apenas dois artigos como resultado. Contudo, os referidos artigos não aplicavam nenhum método de apoio à decisão multicritério. Parente et al. (2008) apresentam um modelo interdisciplinar para pesquisa da GCS, enfocando o *marketing* na CS. Ang, Zhu e Yang (2019) integram a técnica de análise estocástica de aceitabilidade multicritério (*Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis* — SMAA) e a metodologia de análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis* — DEA) para avaliação da eficiência e classificação das CS em dois estágios com valores de critérios estocásticos.

No mesmo período, fizeram-se buscas na base de dados Scopus com as palavras-chave “SAPEVO” ou “SAPEVO-M”, mas não se encontrou documento nenhum relacionado com tais métodos. Portanto, comprova-se o relativo ineditismo do presente trabalho ao avaliar os fornecedores em uma CS por meio do método ordinal SAPEVO-M.

Neste trabalho, a empresa foco é o COMRJ. Os autores utilizaram dados públicos do Portal da Transparência (BRASIL, 2019) para selecionar as oito empresas com maior relevância no fornecimento de material de saúde para aquela unidade no ano de 2018. Para estabelecer a importância dos fornecedores para a presente pesquisa, considerou-se o valor monetário total fornecido naquele ano. A Figura 7 representa um recorte da CS de material hospitalar para facilitar o entendimento do seu funcionamento e o escopo do estudo. No lado esquerdo da figura observam-se os principais fornecedores do COMRJ e, no lado direito, os seus principais clientes.

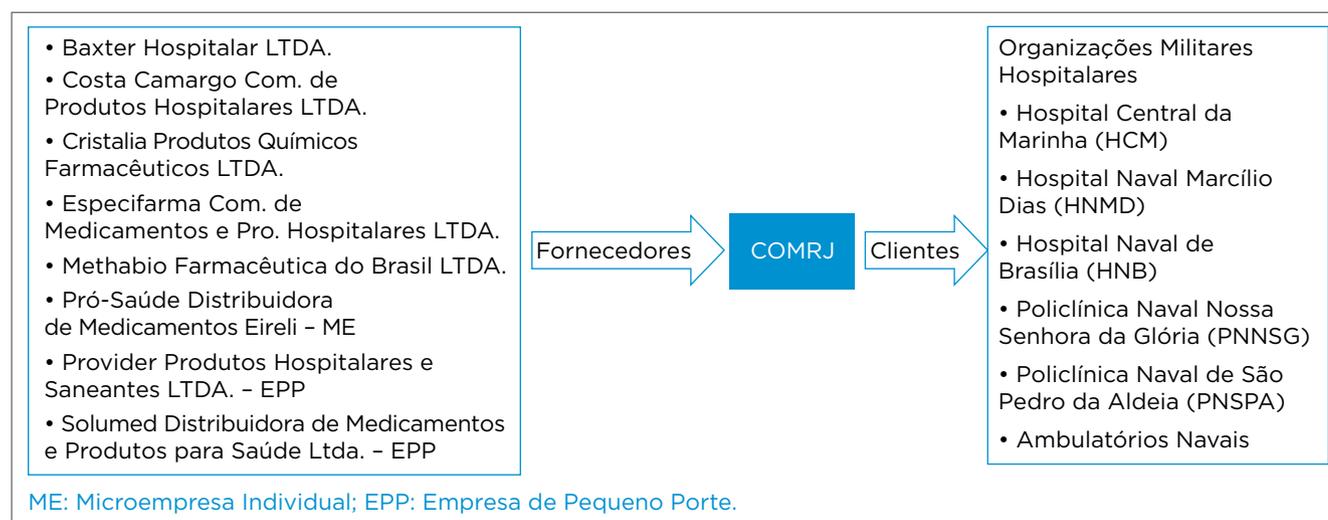


Figura 7. Recorte da cadeia de suprimento (CS) do Centro de Obtenção da Marinha no Rio de Janeiro (COMRJ).

Para melhor compreensão das particularidades dessa GCS específica, entrevistaram-se um médico militar (Entrevistado 1 — E1) e um ex-empresário que já atuou como fornecedor de material hospitalar para a MB (Entrevistado 2 — E2). E2 é empresário aposentado com experiência de mercado no fornecimento desse tipo de material há 35 anos, dos quais trabalhou mais de dez como fornecedor para a MB. E1 é médico anestesista, pós-graduado em Gestão em Saúde pelo Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPEAD/UFRJ), chefe de clínica do Hospital Naval de Brasília e oficial médico da MB há 20 anos. Conduziram-se as entrevistas por telefone e em formato de conversa livre, em que os entrevistados eram questionados sobre a sua percepção em relação à visão acadêmica sobre GCS encontrada na literatura.

O roteiro de perguntas foi composto de questões abertas e fechadas. As abertas levantaram, conforme se explica acima, o entendimento da GCS. As fechadas concentraram-se nos critérios trazidos da publicação da ASCM (2017), ou seja, nos atributos do modelo SCOR 12.0: agilidade (Critério 1 — C1), responsividade (C2), confiabilidade (C3), gestão eficiente (C4) e custo (C5). Classificaram-se esses critérios foram em grau de importância por uma escala de sete níveis utilizada no método SAPEVO-M: absolutamente pior, muito pior, pior, equivalente, melhor, muito melhor e absolutamente melhor. Os critérios foram avaliados em comparações pareadas, assim como os fornecedores entre si, à luz de cada um, conforme a escala supracitada. Realizou-se a análise dos dados pelo *ranking* e procedeu-se a uma reflexão dessa ordenação e do quanto ela representa a avaliação e o posicionamento dos fornecedores. Além disso, efetuou-se uma contraposição entre a revisão de literatura e as perguntas abertas.

No presente trabalho, consultaram-se, ainda, dois militares (Decisor 1 — D1; e Decisor 2 — D2) que trabalham na administração do COMRJ para a realização da avaliação dos principais fornecedores de material de saúde daquela organização militar (OM) no ano de 2018. Essa avaliação não representa a opinião oficial da MB, servindo apenas para fins acadêmicos, para exemplificação do estudo de caso. Como critérios, utilizaram-se os atributos do modelo SCOR 12.0. Os Decisores 1 e 2 foram apresentados às definições desses atributos presentes no modelo. A avaliação realizou-se diretamente na plataforma SapevoWeb. D1 e D2 foram estimulados a responder o quão importante consideravam cada

critério em relação aos demais, por meio de comparações dois a dois; em seguida, analogamente, avaliaram a qualidade de cada alternativa em cada critério, em comparação às demais.

4. ESTUDO DE CASO: FORNECIMENTO DE MATERIAL HOSPITALAR PARA A MARINHA DO BRASIL

Na gestão de estoques, é relevante observar as ações relacionadas às políticas, à administração e ao controle dos estoques (GOLOBOVANTE; RIBEIRO; GOMES, 2018). O principal risco que as instituições correm ao gerenciar o estoque numa CS é o desequilíbrio entre a demanda e a oferta. Em uma CS hospitalar, por sua vez, tal risco poderia ser mitigado pela afiliação a arranjos de sistemas “multi-hospitalares”, principalmente locais. O potencial de melhoria com tal integração pode levar à economia de até 20% do custo de estoque do sistema integrado de saúde em questão (ZEPEDA; NYAGA; YOUNG, 2016).

A gestão de estoque e das redes de distribuição de insumos hospitalares está entre os maiores desafios no setor de saúde. De fato, a ruptura de estoques nesse setor não acarreta somente perdas financeiras, mas também coloca em risco as vidas dos pacientes. Além disso, muitos hospitais transferem as práticas de gestão desenvolvidas no setor industrial para o ambiente de saúde, o que não convém por causa das especificidades do setor (KHOUKHI; BOJJI; BENSOUA, 2019). Nesse contexto, a MB esforça-se para concentrar e integrar suas atividades logísticas de material hospitalar, atendendo a diferentes unidades de saúde pelo seu sistema de abastecimento próprio, adaptado ao seu contexto.

Segundo as Normas para Execução do Abastecimento da Marinha do Brasil (Brasil, 2009), o COMRJ é um dos órgãos de compra do Sistema de Abastecimento da Marinha e compete a ele a execução de pesquisa e a seleção no mercado, nacional ou estrangeiro, de fornecedores. Além disso, é sua função também adquirir os itens para atendimento das necessidades das Organizações Militares Hospitalares (OMH), primordialmente aquelas localizadas na área de jurisdição do Comando do 1º Distrito Naval, sediado na cidade do Rio de Janeiro.

As CS hospitalares se diferem em vários aspectos das CS industriais típicas e é provável que as práticas de gerenciamento

de setores como comércio e manufaturas estejam uma década à frente daquelas da área de saúde. Com a melhoria das organizações de saúde, o incremento da eficiência operacional e a redução de custos, a CS hospitalar passa a concentrar mais atenção para o seu desempenho (CHEN; PRESTON; XIA, 2013).

Em 2018, de acordo com o Portal da Transparência, o montante de material de saúde adquirido pelo COMRJ para ser repassado às OMH ou facilidades médicas que atende foi superior a R\$ 10 milhões (BRASIL, 2019a). Além disso, os hospitais gerenciam grandes quantidades e variedades de itens e o armazenamento e a distribuição de todo esse material são fundamentais para o fornecimento de serviços de alta qualidade ao paciente (MOONS; WAEYENBERGH; PINTELON, 2019).

Aronsson, Abrahamsson e Spens (2011) questionam o porquê do atraso nas práticas de gerenciamento da CS de material de saúde, considerando que de 30 a 40% das despesas hospitalares são investidas em atividades relacionadas à logística. Segundo o E2, um entrave para os hospitais públicos no Brasil seria o excesso de burocracia. Como em qualquer outro órgão de administração pública, todo o material deve ser adquirido mediante licitações, as quais geralmente são demasiadamente lentas.

Volland et al. (2017) atestam que a CS hospitalar muitas das vezes é prejudicada, pois os profissionais de saúde são desviados do atendimento para atividades logísticas para as

quais não foram preparados. O E1 refuta esse posicionamento, entendendo que esse não seria um problema para a Marinha, que se preocupa com a capacitação em gestão de seus médicos, à medida que vão galgando postos superiores na carreira. O mesmo entrevistado ressalta que se busca a excelência na prestação de serviços com foco na gestão, cada vez mais visando à eficiência e à eficácia nos processos. Portanto, para ele, é importante ter gestores na área da saúde que conheçam bem a atividade, sendo cada vez mais comum que médicos assistencialistas se direcionem também para funções administrativas. Assim, para o E1, tais profissionais conseguem ter visão global do assunto e tomar melhores decisões para a instituição, para os profissionais e para os pacientes.

No presente estudo de caso, questionaram-se os decisores D1 e D2, que trabalham na administração do COMRJ, sobre a sua percepção da importância relativa dos critérios, retirados dos atributos do modelo SCOR 12.0. Em seguida, pediu-se que os mesmos agentes decisores avaliassem o desempenho dos oito fornecedores selecionados em cada critério.

As Figuras 8 e 9 ilustram a utilização do sistema *on-line* SapevoWeb para, respectivamente, a realização da avaliação dos critérios e das alternativas. O primeiro passo para a utilização do *software* SapevoWeb é a inserção dos dados do problema pelo usuário. Após a inserção dos critérios a serem avaliados, o sistema gera uma página de avaliação comparativa entre eles, dois a dois, para cada agente decisor previamente cadastrado. Ao término da avaliação, o sistema SapevoWeb



Figura 8. Extrato da página de avaliação de critérios.

gera uma página de avaliação comparativa entre as alternativas em cada critério, analogamente ao processo anterior. Finalizadas as comparações entre as alternativas, após inseridas as avaliações de cada agente decisor, o sistema instantaneamente gera uma nova página com os resultados obtidos do valor do peso dos critérios e a ordenação das alternativas, com base no método SAPEVO-M.

O próprio sistema SapevoWeb calcula e apresenta os resultados: peso dos critérios, que representa a importância relativa deles para os avaliadores; e o grau obtido pelas alternativas, em ordem decrescente de pontuação. A Tabela 3 indica o valor dos pesos dos critérios calculados pelo sistema, enquanto o resultado final da ordenação é apresentado na Tabela 4.

A Tabela 3 demonstra que os administradores do COMRJ consultados privilegiam, principalmente, o critério de confiabilidade da CS de material hospitalar. Provavelmente, por se tratar de material de saúde, para aqueles agentes decisores é importante a certeza do cumprimento dos acordos celebrados para que os atendimentos não sejam prejudicados.

A Tabela 4 demonstra que não houve grandes discrepâncias entre os graus obtidos por determinada empresa e aquela subsequentemente ranqueada. No caso estudado, as notas próximas podem significar que não há diferenças

Tabela 3. Peso dos critérios.

Atributo	Peso	Critério
Agilidade	1,5000	C1
Responsividade	0,7923	C2
Confiabilidade	1,9231	C3
Gestão Eficiente de Ativos	0,0056	C4
Custo	0,8615	C5

Tabela 4. Ordenação das alternativas: fornecedores.

Ranking	Fornecedor	Grau Obtido
1º	CRISTALIA LTDA.	6,58253
2º	BAXTER LTDA.	5,46576
3º	COSTA LTDA.	5,36367
4º	ESPECIFARMA	4,96107
5º	SOLUMED	4,64744
6º	PRO-SAUDE	3,91016
7º	PROVIDER	3,38812
8º	METHABIO	2,65502

SapevoWeb
SAPEVO-M: Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors - Multi Decision Makers

Home Método Tutoria

Projeto Material Hospitalar

Avaliar Alternativas

Qual é o decisor? Comandante 1 ▾

Critério - Agilidade

CRISTALIA LTDA VS BAXTER LTDA

Absolutamente Pior Muito Pior Pior Equivalente Melhor Muito melhor Absolutamente melhor

CRISTALIA LTDA VS COSTA LTD

Absolutamente Pior Muito Pior Pior Equivalente Melhor Muito melhor Absolutamente melhor

CRISTALIA LTDA VS ESPECIFARMA

Absolutamente Pior Muito Pior Pior Equivalente Melhor Muito melhor Absolutamente melhor

CRISTALIA LTDA VS SOLUMED

Absolutamente Pior Muito Pior Pior Equivalente Melhor Muito melhor Absolutamente melhor

Fonte: SapevoWeb (2020).

Figura 9. Extrato da página de avaliação de alternativas em cada critério.

significativas entre o serviço prestado por uma empresa e o daquela que se segue no *ranking* de fornecedores de 2018. Por outro lado, como o resultado é apresentado por escala absoluta, pode-se observar que o primeiro colocado teve desempenho próximo ao dobro daquele do sétimo colocado, ou que o oitavo colocado teve desempenho equivalente à metade do segundo colocado naquele ano. Isso significa que, se não há grandes diferenças entre uma alternativa e a seguinte, essa diferença se evidencia à medida que as mesmas se distanciam no *ranking*. Essa informação pode ser fundamental para um tomador de decisão, por exemplo, entender os ganhos e prejuízos na seleção de determinada alternativa em detrimento de outra. Em situação hipotética em que um fornecedor mais bem colocado no *ranking* não possa ser selecionado por algum motivo alheio à vontade do agente decisor, este poderia ter maior segurança para analisar a seleção de outras alternativas do *ranking*.

5. CONCLUSÃO

O sistema SapevoWeb surge como ferramenta importante para que se obtenham facilmente resultados de problemas complexos e que os pesquisadores possam focar em outras etapas do processo. A disponibilização gratuita *on-line* dessa plataforma de auxílio à decisão multicritério possibilita a difusão de um novo método ordinal para a comunidade acadêmica.

O presente estudo se propôs a utilizar o método AMD ordinal sob uma ótica diferente em estudo de GCS, introduzindo nova possibilidade de abordagem para valorar aspectos da GCS por meio de ordenação. De acordo com os especialistas consultados, a empresa Cristalia LTDA. foi a melhor colocada em *ranking* de oito fornecedores de material hospitalar do COMRJ. Entretanto, ao apresentar um grau para cada alternativa ordenada, o método SAPEVO-M permite análises subjetivas sobre a diferença na qualidade do serviço de cada uma das empresas. Consequentemente, em uma situação hipotética em que aquela empresa não pudesse concorrer para ser selecionada para fornecimento de determinado item, os clientes poderiam aceitar o segundo colocado no *ranking* como alternativa viável, sem prejuízo significativo na qualidade do serviço. Por outro lado, caso a opção fosse pelo último colocado do *ranking*, os clientes poderiam observar queda na qualidade do serviço apresentado, considerando-se que esta alternativa teve nota 2,5 vezes menor que a empresa que ficou em primeiro lugar na avaliação.

Para melhoria da gestão de fornecimento de materiais hospitalares na MB, sugere-se que esta pesquisa seja replicada com número ainda maior de fornecedores, o emprego de mais especialistas do COMRJ como avaliadores e extensão a outros setores do SSM. Pesquisas futuras podem realizar a revisão da literatura em outras bases de dados, utilizar as métricas do modelo SCOR como critérios para avaliar os fornecedores ou estender a aplicação do método SAPEVO-M a outros níveis da cadeia de suprimentos.

REFERÊNCIAS

ANG, S.; ZHU, Y.; YANG, F. Efficiency evaluation and ranking of supply chains based on stochastic multicriteria acceptability analysis and data envelopment analysis. *International Transactions in Operational Research*, p. 1-30, 2019. <http://doi.org/10.1111/itor.12707>

ASSOCIATION FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (ASCM). *APICS SCC*. About APICS SCC. 2017. Disponível em: <<http://www.apics.org/about/overview>>. Acesso em: 29 nov. 2018.

ARONSSON, H.; ABRAHAMSSON, M.; SPENS, K. Developing lean and agile health care supply chains. *Supply Chain Management*, v. 16, n. 3, p. 176-183, 2011. <https://dx.doi.org/10.1108/13598541111127164>

BRASIL. Controladoria Geral da União. *Portal da Transparência*. Disponível em: <<http://www.portaltransparencia.gov.br/>>. Acesso em: 12 jul. 2019a.

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. *Anuário Estatístico da Marinha do Brasil (ANEMAR) 2018*. Rio de Janeiro: Secretaria-Geral da Marinha, Diretoria de Administração da Marinha, 2019b. v. 1.

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. *Carta de Serviços ao Cidadão*. Rio de Janeiro: Centro de Obtenção da Marinha no Rio de Janeiro, 2019c. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/comrj/sites/www.marinha.mil.br.comrj/files/carta_COMRJ.pdf>. Acesso em: 4 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. *Normas para Assistência Médico-Hospitalar da Marinha do Brasil (DGPM-401)*. Rio de Janeiro: Diretoria Geral de Pessoal Militar, 2012.

BRASIL. Ministério da Defesa. Marinha do Brasil. *Normas para Execução do Abastecimento da Marinha do Brasil (SGM - 201)*. Rio de Janeiro: Secretaria Geral da Marinha, 2009.

CHEN, D. Q.; PRESTON, D. S.; XIA, W. Enhancing hospital supply chain performance: A relational view and empirical test. *Journal of Operations Management*, v. 31, n. 6, p. 391-408, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.07.012>

- COOPER, M. C.; LAMBERT, D. M.; PAGH, J. D. Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics. *The International Journal of Logistics Management*, v. 8, n. 1, p. 1-14, 1997. <https://doi.org/10.1108/09574099710805556>
- COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (CSCMP). Disponível em: <<https://cscmp.org/>>. Acesso em: 24 nov. 2018.
- GALO, N. R.; RIBEIRO, P. C. C.; MARGULHÃO, R. C.; VIEIRA, J. G. V. Selección de proveedor de servicios logísticos: alineación entre criterios e indicadores. *Innovar*, v. 28, n. 69, p. 55-70, 2018. <http://dx.doi.org/10.15446/innovar.v28n69.71696>
- GOLOBOVANTE, A. F. M.; RIBEIRO, P. C. C.; GOMES, C. F. S. Adoção de Resposta Rápida e gerenciamento de estoques no fast fashion: dois estudos de caso em Minas Gerais. *Gestão & Produção*, v. 25, n. 3, p. 557-567, 2018. <https://doi.org/10.1590/0104-530x2063-18>
- GOMES, C. F. S.; RIBEIRO, P. C. C. *Gestão da Cadeia de Suprimentos Integrada à Tecnologia da Informação*. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Senac, 2014.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. *Princípios e métodos para a tomada de decisão: enfoque multicritério*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- GOMES, L. F. A. M.; MURY, A. R.; GOMES, C. F. S. Multicriteria ranking with ordinal data. *Systems Analysis Modelling Simulation*, 1997.
- KHOUKHI, S.; BOJJI, C.; BENSOUDA, Y. A review of medical distribution logistics in pharmaceutical supply chain. *International Journal of Logistics Systems and Management*, v. 34, n. 3, p. 297-326, 2019.
- LI, L.; SU, Q.; CHEN, X. Ensuring supply chain quality performance through applying the SCOR model. *International Journal of Production Research*, v. 49, n. 1, p. 33-57, 2011. <http://doi.org/10.1080/00207543.2010.508934>
- MAESTRINI, V.; LUZZINI, D.; MACCARRONE, P.; CANIATO, F. Supply chain performance measurement systems: A systematic review and research agenda. *International Journal of Production Economics*, v. 183, parte A, p. 299-315, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.11.005>
- MOONS, K.; WAEYENBERGH, G.; PINTELON, L. Measuring the logistics performance of internal hospital supply chains -A literature study. *Omega*, v. 82, p. 205-217, 2019.
- NTABE, E.N.; LEBEL, L.; MUNSON, A.D.; SANTA-EULALIA, L.A. A systematic literature review of the supply chain operations reference (SCOR) model application with special attention to environmental issues. *International Journal Production Economics*, v. 169, p. 310-332, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.08.008>
- PARENTE, D. H.; LEE, P. D.; ISHMAN, M. D.; ROTH, A. V. Marketing and supply chain management: a collaborative research agenda. *Journal of Business & Industrial Marketing*, v. 23, n. 8, p. 520-528, 2008. <https://doi.org/10.1108/08858620810913335>
- PEÑA-OROZCO, D. L.; RIVERA, L. Sensitivity analysis of the SCOR metrics selected for the measurement of the management of a fruit-growing supply chain. *Dyna*, v. 84, n. 203, p. 306-315, 2017. <https://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n203.61442>
- SANTOS, M.; QUINTAL, R. S.; PAIXÃO, A. C. da; GOMES, C. F. S. Simulation of Operation of an Integrated Information for Emergency Pre-hospital Care in Rio de Janeiro Municipality. *Procedia Computer Science*, v. 55, p. 931-938, 2015. <https://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.111>
- SELLITTO, M. A.; PEREIRA, G. M.; BORCHARDT, M.; SILVA, R. I. da; VIEGAS, C. V. A SCOR-based model for supply chain performance measurement: application in the footwear industry. *International Journal of Production Research*, v. 53, n. 16, p. 4917-4926, 2015. <https://dx.doi.org/10.1080/00207543.2015.1005251>
- TEIXEIRA, L. F. H. S. B.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. *SapevoWeb Software*: v. 1. 2018. Disponível em: <<http://www.sapevoweb.com>>. Acesso em: 30 jul. 2019.
- TEIXEIRA, L. F. H. S. B.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. Proposta e implementação em *python* do método *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors - Multi Decision Makers*: uma ferramenta *web* simples e intuitiva para Apoio à Decisão Multicritério. 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.
- VELYCHKO, O. Integration of SCOR-Modeling and Logistical Concept of Management in the System of Internal Transportation of Milk Cooperative. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, v. 6, n. 1, supl. 2, p. 14-24, 2015. <http://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n1s2p14>
- VOLLAND, J.; FÜGENER, A.; SCHOENFELDER, J.; BRUNNER, J. O. Material logistics in hospitals: A literature review. *Omega*, v. 69, p. 82-101, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2016.08.004>
- ZEPEDA, E. D.; NYAGA, G. N.; YOUNG, G. J. Supply chain risk management and hospital inventory: Effects of system affiliation. *Journal of Operations Management*, v. 44, p. 30-47, 2016.

1. OBJETIVO

A Revista Pesquisa Naval (RPN) é um periódico científico de publicação anual que apresenta à comunidade científica uma coletânea de estudos desenvolvidos por pesquisadores das áreas científica, tecnológica e de inovação, cujos temas sejam pertinentes às áreas de interesse da Marinha do Brasil (MB).

O periódico é publicado pela Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM) e avaliado pelo Sistema de Classificação de Periódicos, Anais, Revistas e Jornais (QUALIS) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) nas seguintes categorias: “B5”, nas áreas de avaliação Engenharia II, Engenharia III, Geociências, Planejamento Urbano e Regional / Demografia e; “C” na área de avaliação Interdisciplinar.

2. CORPO EDITORIAL

A administração da RPN será conduzida pelo Corpo Editorial composto pelo Editor-Chefe, Editores-Adjuntos, Conselho Editorial e pela Comissão Editorial, sendo:

Editor-Chefe:

Diretor-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha

Editores-Adjuntos:

Diretor do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo – CTMSP
Diretor do Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro – CTMRJ

Diretor da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade – AgNSNQ

Assessor-Chefe de Relações Institucionais e Comunicação Social da DGDNTM

Conselho Editorial (com os seguintes elementos organizacionais da DGDNTM):

Presidente do Conselho Editorial: Assessor-Chefe de Relações Institucionais e Comunicação Social da DGDNTM

Membros do Conselho Editorial:

Assessor de Comunicação Social
Assessor de Relações Institucionais
Encarregado da Divisão de parcerias Estratégicas
Encarregada da Divisão de Imprensa
Encarregada da Divisão de Publicidade e Propaganda
Ajudante da Divisão de Parcerias Estratégicas
Auxiliar da Divisão de Parcerias Estratégicas

Comissão Editorial:

Membros da comunidade científica, requisitados “ad hoc”, que farão a avaliação dos artigos em submissão, observados os critérios de avaliação elaborados pelo Conselho Editorial e aprovados pelo Editor-Chefe da RPN.

3. NORMAS EDITORIAIS

3.1 – Características Gerais

3.1.1. A submissão de artigos é aberta a pesquisadores, pertencentes ou não à Marinha do Brasil (MB), que apresentem trabalhos inéditos sobre os seus estudos, isto é, não publicados em quaisquer revistas ou periódicos, e cujos temas sejam, prioritariamente, pertinentes às áreas de interesse do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha (SCTMB), abaixo discriminadas:

(I) Área de Sistemas de Armas e Munições: Compreende a capacitação para pesquisar, projetar, desenvolver protótipos e avaliar sistemas de armas e seus componentes (hardware), controle de armas (software), armamento de pequeno e médio calibre e munições, necessários às Operações Navais.

(II) Área do Ambiente Operacional: Compreende a capacitação para pesquisar, projetar, desenvolver e inovar modelos, métodos, sistemas, equipamentos, materiais e técnicas que permitam a produção de informações e a ampliação do conhecimento sobre os ambientes oceânico, costeiro, fluvial e lacustre, necessários às Operações Navais.

(III) Área de Processos Decisórios: Compreende a capacitação para pesquisar, projetar, desenvolver protótipos e inovar modelos, métodos, sistemas e técnicas que permitam a produção de informações e a ampliação do conhecimento sobre os processos decisórios, estratégicos, operacionais, gerenciais e de apoio, necessários às Operações Navais.

(IV) Área de Sensores, Guerra Eletrônica e Guerra Acústica: Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, desenvolver protótipos e inovar sistemas de detecção, de discriminação e de contramedidas necessários às Operações Navais.

(V) Área de Desempenho Humano e Saúde: Compreende a capacitação de estudar, pesquisar, modelar, projetar e desenvolver protótipos, ampliando o conhecimento biomédico, farmacotécnico, psicológico, da bioengenharia e da ergonomia, visando a aumentar a capacidade de desempenho, de resistência a situações de pressão e de proteção da saúde do homem quando em combate e dos recursos de treinamento por simuladores, de interesse da Marinha.

(VI) Área de Materiais Especiais: Compreende a capacitação de estudar, pesquisar, projetar e desenvolver protótipos e experimentos de materiais para dificultar a detecção de plataformas, para absorção de energia e proteção e detecção NBQR, para processos especiais de soldagem, para emprego na área nuclear, materiais resistentes à abrasão, ao impacto balístico e de materiais energéticos, ou ainda, materiais que possuam outras características físico-químicas especiais que sejam de interesse da Marinha.

(VII) Área de Energia: Compreende a capacitação de estudar, pesquisar, modelar, projetar e desenvolver protótipos e experimentos envolvendo sistemas de geração, exceto nuclear, de acumulação e de distribuição de energia e sistemas de propulsão de interesse da Marinha.

(VIII) Área de Arquitetura Naval e Plataformas: Compreende a capacitação de estudar, pesquisar, projetar, simular e desenvolver protótipos, modelos e experimentos de plataformas navais, anfíbias, terrestres e aéreas, visando à previsão do seu comportamento nas diversas condições do meio ambiente onde atuarão, da configuração

de seus sensores e armas e da configuração de seus sistemas de propulsão e governo, necessários às Operações Navais.

(IX) Área de Cibernética (Tecnologia da Informação) e Comunicações: Esta área compreende dois segmentos: a cibernética (tecnologia da informação) e a tecnologia das comunicações, antes tratadas de forma isolada e atualmente abordadas de forma integrada, considerando a convergência de suas respectivas tecnologias.

O segmento da cibernética, com ênfase na tecnologia da informação, compreende a capacitação de estudar, pesquisar, projetar, simular e desenvolver protótipos, modelos e experimentos, visando ao desenvolvimento e à qualidade do software, à topologia das redes de computadores, à criptologia e às medidas de apoio à guerra cibernética de interesse da Marinha. O segmento da tecnologia da comunicação compreende a capacitação de estudar, pesquisar, projetar, simular e desenvolver protótipos, modelos e experimentos visando à comunicação de dados e/ou voz e à avaliação de desempenho das comunicações.

(X) Área de Nanotecnologia: Compreende a capacitação de estudar, pesquisar, projetar, modelar, simular e desenvolver protótipos e experimentos envolvendo a engenharia do átomo, que leve à criação de elementos, substâncias e materiais inexistentes na natureza e que atendam a necessidades específicas de interesse da Marinha.

(XI) Área Nuclear: Compreende a capacitação de estudar, pesquisar, projetar, modelar, simular e desenvolver protótipos e experimentos envolvendo as atividades afetas ao ciclo do combustível nuclear e a geração de energia nuclear para propulsão naval de interesse da Marinha.

3.1.2. Os artigos em submissão serão encaminhados ao Conselho Editorial da RPN, por e-mail endereçado à caixa-postal dgdntm.pesquisanaval@marinha.mil.br em formato, digital devidamente assinado(s) pelo(s) autor(es), de acordo com o e nos termos das presentes Normas.

3.1.3. Quando da submissão, será solicitado ao autor que enquadre o artigo em uma das áreas de interesse do SCTMB, discriminadas no item 3.1.1. O Conselho Editorial, sempre que julgar necessário, poderá alterar essa indicação.

3.1.4. Os autores dos artigos em submissão deverão acompanhar o andamento do processo de seleção e efetuar as solicitações indicadas, por e-mail endereçado à caixa-postal dgdntm.pesquisanaval@marinha.mil.br.

3.1.5. O Português é o idioma oficial da RPN. Em caráter excepcional, por decisão do Conselho Editorial, poderão ser aceitos trabalhos em outro idioma.

3.1.6. O artigo em submissão deverá ser inédito e não poderá ser submetido para publicação em outras revistas, simultaneamente com a RPN, implicando em cancelamento da submissão. Em caráter excepcional, por decisão do conselho editorial, poderão ser aceitos trabalhos não inéditos.

3.1.7. O número de artigos para publicação, por edição, será limitado a um por autor.

3.1.8. Os artigos originais serão submetidos à avaliação da Comissão Editorial, sem qualquer identificação de autoria, garantindo que sejam preservados o critério de sigilo do autor e a isenção na submissão para avaliação por pares.

3.1.9. O Conselho Editorial da RPN selecionará os artigos a serem publicados, avaliando o cumprimento das Normas para Submissão de Artigos Científicos à RPN, bem como os pareceres apresentados pela Comissão Editorial.

3.1.10. No caso de haver número de artigos maior do que o comportado pela edição, os excedentes poderão ser reservados para publicação nas edições subsequentes, mediante autorização formal dos autores.

3.1.11. Após aprovação do artigo em submissão, os autores serão comunicados formalmente e encaminharão ao Conselho Editorial a “Declaração de Responsabilidade e Cessão dos Direitos de Autor para Publicação de artigo na RPN”, conforme anexo. No caso de autoria múltipla, a declaração poderá ser assinada apenas pelo autor responsável pela submissão do artigo, o qual se responsabilizará pelos demais.

3.1.12. A revisão gramatical e a obediência às normas de referência, citadas no item 3.2.14, deverão ser obrigatoriamente providenciadas pelo autor do trabalho, antes de sua submissão. Entretanto, no intuito de zelar pelo padrão culto da língua portuguesa, o Conselho Editorial da RPN se reserva ao direito de efetuar, nos originais, alterações de ordem normativa, ortográfica e gramatical, respeitando, porém, o estilo dos autores. As provas finais serão enviadas aos autores para a devida ratificação.

3.1.13. A versão final do artigo será adequada ao padrão de formatação gráfico da revista. Não serão fornecidas separatas. Os artigos estarão disponíveis, no formato “pdf”, no endereço eletrônico da revista, bem como o previsto no item 4.2.

3.1.14. Os autores dos artigos publicados não perceberão qualquer tipo de remuneração ou pró-labore.

3.1.15. A RPN fica autorizada, em caráter de exclusividade, a publicar os artigos indicados na “Declaração de Responsabilidade e Cessão dos Direitos de Autor para Publicação de artigo na Revista Pesquisa Naval”, encaminhado de acordo com o item 3.1.11, pelo prazo e nas condições ali estabelecidas.

3.1.16. Os trabalhos publicados passam a ser propriedade da RPN, sendo permitida a reprodução parcial ou total dos trabalhos, desde que a fonte seja citada.

3.1.17. Os artigos publicados, bem como as opiniões emitidas nesses artigos, são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

3.2 – Características Técnicas

3.2.1. Os artigos serão submetidos ao Conselho Editorial, conforme item 3.1.2, em arquivo eletrônico gravado na extensão “RTF” (Rich Text Format) e com tamanho máximo de 2MB.

Formato:

- (I) margens: superior e esquerda 3 cm; direita e inferior de 2 cm e
- (I) papel A4 (21cm X 29,7cm).

3.2.2. A estrutura dos artigos conterá as seguintes seções, na sequência indicada:

1. Título (português e inglês);
2. Identificação dos Autores;
3. Resumo;
4. Palavras-chave;
5. *Abstract*;
6. *Keywords*;

7. Introdução;
8. Metodologia de Pesquisa;
9. Resultados;
10. Discussão;
11. Conclusões e
12. Referências.

Todas as seções e subseções, a partir da Introdução, serão numeradas com algarismos arábicos. Permite-se a omissão da Seção (8) e a fusão das Seções (9) e (10), quando a natureza do trabalho assim o recomendar.

3.2.3. Tamanho: a extensão máxima do artigo será de 20 laudas, incluindo os elementos pré-textuais, texto e pós-textuais. Uma lauda é uma página com 1.250 caracteres.

3.2.4. Título: será breve e suficientemente específico e descritivo, contendo as palavras-chave que representem o conteúdo do texto, acompanhado de sua tradução para o idioma inglês. Formato: fonte Times New Roman, tamanho 14, em negrito, letras maiúsculas e minúsculas e parágrafo centralizado, com efeito itálico para o título em inglês.

3.2.5. Identificação dos autores: deverá constar o nome completo de cada autor, seguido do título profissional e titulação acadêmica, informação completa sobre a afiliação do autor (incluindo instituição de origem, vínculo funcional, cidade, estado e país) e o endereço eletrônico para contato.

Formato: espaçamento entre linhas simples, fonte Times New Roman, tamanho 10, letras maiúsculas e minúsculas e parágrafo centralizado. Aplicar o efeito negrito somente para o nome do autor.

3.2.6. Resumo/*Abstract*: o resumo elaborado será de caráter informativo, de acordo com a NBR 6028 da ABNT, com o máximo de 250 palavras, ressaltando o objetivo, o método, os resultados e as conclusões. O abstract será a tradução integral do resumo para o inglês. Formato: espaçamento entre linhas simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, com efeito itálico para o *Abstract*, e parágrafo justificado.

3.2.7. Palavras-chave/*Keywords*: as palavras-chave deverão ser separadas por ponto. As keywords serão a tradução integral das palavras-chave para o inglês.

Formato: espaçamento entre linhas simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, com efeito itálico para as *keywords*, letras maiúsculas e minúsculas e parágrafo justificado.

3.2.8. Introdução: Parte inicial do artigo, onde deve constar a delimitação do assunto tratado. Os objetivos da pesquisa e outros elementos necessários para situar o tema do artigo.

3.2.9. Desenvolvimento: Parte inicial do artigo, que contém a exposição ordenada e pormenorizada do assunto tratado. Divide-se em seções e subseções, conforme a NBR-6024 da ABNT, que variam em funções da abordagem do tema e do método.

3.2.10. Conclusão: Parte Final do artigo, na qual se apresentam as conclusões correspondentes aos objetivos e hipóteses.

3.2.11. Agradecimentos: se for o caso, deverão ser mencionados no final do trabalho, antecedendo as referências.

Formato: espaçamento entre linhas de 1,5, fonte Times New Roman, tamanho 12, letras maiúsculas e minúsculas e parágrafo justificado.

3.2.12. Referências: serão apresentadas em ordem alfabética no final do artigo, de acordo com a norma da NBR-6023 da ABNT. Todas as referências deverão ser citadas no texto de acordo com o sistema alfabético (autor-data).

Formato: espaçamento entre linhas simples, fonte Times New Roman, tamanho 12 e parágrafo justificado.

3.2.13. Notas explicativas: deverão ser evitadas. Quando possível, os textos com essas características serão incorporados aos elementos textuais.

3.2.14. As figuras, tabelas ou ilustrações devem conter legendas, créditos ou fonte de consulta. Caso haja figuras e tabelas importadas de outros programas, como Excel e Power Point, serão enviados, também, o arquivo de origem com resolução mínima de 200 DPI. As legendas, créditos ou fonte de consulta estarão em fonte Times New Roman - tamanho 10.

3.2.15. Com o propósito de atender ao item 3.1.5, os elementos textuais do artigo não poderão conter qualquer forma de identificação do(s) autor(es).

3.2.16. Para aspectos gerais de apresentação, referências bibliográficas, citações, notas e demais detalhes, serão observadas as seguintes normas:

- ABNT – NBR-6021 – publicação periódica científica impressa;
- ABNT – NBR-6022 – artigo em publicação periódica científica impressa;
- ABNT – NBR-6023 – referências;
- ABNT – NBR-6024 – numeração progressiva;
- ABNT – NBR-6027 – sumário;
- ABNT – NBR-6028 – resumo;
- ABNT – NBR-10520 – citações; e
- Apresentação tabular do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1. Os autores dos artigos em submissão ao respectivo processo de seleção serão oportunamente informados sobre o seu andamento, por e-mail, até a publicação da RPN.

4.2. Os autores o receberão dois exemplares da edição que consta a publicação de seus artigos, considerando que ela também será disponibilizada na versão digital no sítio eletrônica da RPN. Caberá ao Conselho Editorial da RPN a responsabilidade pelo envio das revistas aos autores.

4.3. Quaisquer solicitações de informações adicionais deverão ser encaminhadas à:

Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
Conselho Editorial da Revista Pesquisa Naval Esplanada dos Ministérios, Bloco “N”, 4º andar CEP: 70055-900 – Brasília/DF
e-mail: dgdntm.pesquisanaval@marinha.mil.br
Tel/Fax: (61) 3429-1944.

ANEXO

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE E DE CESSÃO DOS DIREITOS DE AUTOR PARA PUBLICAÇÃO DE ARTIGO NA REVISTA PESQUISA NAVAL

Ao Presidente do Conselho Editorial da Revista Pesquisa Naval
Esplanada dos Ministérios - Bloco "N" - 4º andar
70055-900 - Brasília - DF

Assunto: Declaração de Responsabilidade e de Cessão dos Direitos de Autor para publicação de artigo na Revista Pesquisa Naval.

Declaro(amos) que o artigo intitulado “_____”, enviado à Revista Pesquisa Naval, periódico científico da Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha, é um artigo inédito e o seu conteúdo não está sendo considerado para publicação em outras revistas, seja no formato impresso seja no eletrônico.

Certifico(amos) que participei(amos) suficientemente da elaboração do artigo para tornar pública minha (nossa) responsabilidade pelo seu conteúdo.

Cedo(emos), com exclusividade, a título gratuito e pelo período de dois anos, os direitos autorais patrimoniais do artigo supracitado à Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha, para publicação na ____ª edição da Revista Pesquisa Naval, a qual poderá ser em formato impresso ou em formato eletrônico, neste último caso para disponibilização na página Internet da RPN.

Aceito(amos) as condições deste termo. (todos os autores)

Local, em _____ de _____ de 20__.

Assinatura do(s) autor(es) (nome completo, CPF, RG/Órgão Expedidor, cargo/profissão, instituição onde trabalha, endereço funcional)

