

Proposta de Avaliação da Eficiência de Redes Logísticas de Combate Empregando Mapa Cognitivo

Fábio Ayres Cardoso, Rodrigo Arnaldo Scarpel e Mischel Carmen Neyra Belderrain.
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Pça Mal. Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias - São José dos Campos - SP

Resumo — O planejamento das ações de suporte logístico a tropas desdobradas envolvidas em combate dentro de um teatro de operações compreende uma das atividades mais complexas, tendo em vista a miríade de condicionantes que precisam ser atendidos (janela de operação, capacidade das aeronaves, custos etc). Para mitigar esse problema, modelos matemáticos vem sendo desenvolvidos, cada qual abordando perspectivas distintas do envolvente operacional, não abarcando, por completo, suas instâncias decisivas. Como o emprego do mapa cognitivo e da redução metodológica de conceitos, é possível identificar os construtos-base relacionados aos aspectos estáticos e dinâmicos de um sistema logístico de combate, assim como suas relações internas e, assim, oferecer subsídios para o desenvolvimento de modelos de otimização mais abrangentes e consistentes.

Palavras-Chave — otimização, eficiência, adaptabilidade.

I. INTRODUÇÃO

É de conhecimento comum que, enquanto depositárias das capacidades bélicas nacionais, às Forças Armadas cabe a missão de, mediante comando, fazer uso da força a fim de contribuir para o atingimento dos objetivos do Estado, quando esses se fizerem ameaçados [1].

Para que o aporte de meios militares se afigure eficiente, e produza os resultados esperados, requisitos de consistência funcional definidores do nexo de capacidades requeridas para o suporte logístico às tropas desdobradas - e conformadoras da logística de combate [2] - precisam ser adequadamente dimensionados, sob pena de limitar o arsenal de alternativas de ação governamental para (re)agir prontamente em tempos de crise [3].

Sob esses contextos, caracterizados essencialmente por perturbações no âmbito estatal ou das relações internacionais [4], desdobramentos rápidos de tropas e de suprimentos são igualmente cruciais, tanto na fase de projeção da força (*force projection*), quanto na de sua sustentação (*force support*) [5], para que a efetividade das ações militares seja preservada ao longo de todo o período do engajamento.

A alocação de meios logísticos em situações de combate, no entanto, particularmente aqueles envolvendo o transporte aéreo, tem se apresentado como um enorme desafio para os planejadores militares, haja vista a quantidade de limitantes envolvidos. A disponibilidade de vetores aéreos (transporte de carga e reabastecedores) e das respectivas tripulações [6], alcance e capacidade desses vetores [7], idoneidade processual e tecnológica das equipagens de solo [8], janelas de operação estabelecidas [9], requisitos de priorização de carga [10], custos de deslocamento [11], interferência nas rotas por ação

inimiga [12], deslocamentos sucessivos das tropas em solo [13], e muitas outras dimensões, intrínsecas ao ambiente operacional, têm tornado impossível a produção de otimalidades sistêmicas na sustentação dos arranjos de força envolvidos.

Para lidar com problemáticas dessas natureza e magnitude, desenvolvimentos na área da Pesquisa Operacional de defesa (*military operations research*) [14] vem ocorrendo ao longo de anos, tipificados pelo desenvolvimento e implementação de modelos matemáticos de otimização. Esses instrumentos, buscando encapsular os traços da realidade operacional, têm auxiliado na proposição de linhas de ação operacionais e táticas, assistindo processos de decisão adstritos à estrutura de força, modernização, sustentabilidade e prontidão [15].

Essas modelagens, no entanto, mesmo trabalhando sobre circunstâncias similares, têm priorizado instâncias díspares - particularmente no suprimento tático - formatados sobre as diferentes perspectivas que seus elaboradores têm em relação ao que é relevante otimizar. Além disso, têm negligenciado atributo intrínseco a sistemas de defesa idôneos: eficiência da arquitetura logística e adaptabilidade às condições de combate. Nesse contexto, por se tratarem de sistemas adaptativos complexos [16] [17], arranjos de força precisam ser proficientes em criar e manter altos níveis de eficiência, tanto estrutural e processual de adaptabilidade, quanto de adequação aos limites de dispêndio permitidos pela economia nacional.

Neste trabalho, visando encontrar liame entre os modelos de otimização matemática de logística de combate, investidores na modalidade aérea militar para distribuição de suprimentos, e o conceito de eficiência sistêmica, esforços foram empreendidos utilizando-se de dois instrumentos conceituais básicos:

- Mapeamento mental, fundado sobre a teoria do construto pessoal de George Kelly, na elaboração e na análise das perspectivas (pontos de vista) existentes;
- Reducionismo metodológico moderado, fundado sobre o princípio lógico da Navalha de Ockham, na extração dos fundamentos subsumidos no conceito de eficiência.

Com base nos resultados, uma nova abordagem sobre a modelagem matemática na área da logística de combate em questão foi proposta, com o fito de orientar trabalhos futuros.

II. MATERIAL E MÉTODO

O mapeamento mental é uma técnica simples e útil para auferir respostas em situações nos quais a maneira como o pensamento foi produzido é o cerne da questão [18]. A técnica faz uso dos chamados mapas de conhecimento (*knowledge maps*), que são, essencialmente, representações visuais do “conhecimento sobre o conhecimento” [19][20].

Os mapas cognitivos, também chamados mapas causais ou diagramas de influência [18], são mapas de conhecimento que fornecem uma organização hierárquica do conhecimento, com base em modelos psicológicos. São construídos sobre a noção de que o cérebro humano organiza conhecimentos (semânticos) empregando redes, hierarquias de conceitos e proposições. São construídos, assim, na forma de grafos (redes orientadas), com os nós representando conceitos, e os arcos ou setas, relações de causalidade [21][22].

Dentre os diversos modos de se mapear conceitos - com ajuda de indivíduos, grupos ou análise de argumentos [23] - optou-se pela última, face à impossibilidade técnica de se operacionalizar as práticas anteriores, seja pela inexistência de nacionais dedicados à otimização de defesa, na logística de combate, seja pela confidencialidade que assuntos de defesa são tratados entre aqueles que os detêm [24].

A análise textual, cujos estudos remontam à década de 1970, e iniciados no âmbito das ciências políticas [25], compreende o mapeamento de materiais escritos e sua análise, envolvendo apreciação do conteúdo, do relacionamento entre as ideias neles contidas, os conceitos-chave existentes, as metas e objetivos declarados, as contradições existentes entre esses, envolvendo, em resumo, sua coerência interna [26].

Os materiais empregados no mapeamento compreenderam as funções objetivo constantes dos modelos matemáticos presentes em 30 (trinta) artigos científicos ostensivos, afetos especificamente à distribuição de suprimentos para unidades posicionadas em um teatro de operações, com uso exclusivo de aeronaves militares, desenvolvidas tanto nos estágios iniciais de mobilização (concentração estratégica), quanto nas fases de ressuprimento, ocorridas durante a campanha militar [6]-[13], [30]-[51].

Como segunda etapa, pós-construção do mapa cognitivo, uma análise estrutural foi conduzida, empregando rubricas já positivadas na literatura especializada [26] [27], envolvendo:

análise da extensão do mapa; a existência de *clusters* (ilhas de ideias), considerando ou não hierarquias internas; a análise dos nós potentes (conceitos centrais); e a análise de domínio do mapa.

Numa terceira, etapa, a fim de se obter um entedimento mais agudo - extrair a essência - dos construtos presentes no mapa, processos de redução conceitual foram diligentemente empreendidos, por intermédio do que é conhecido por reducionismo metodológico. Em essência, essa ferramenta postula basicamente que, “se conceitos A e B pertencem aos contextos μ_A e μ_B , respectivamente, então, A é redutível a B, em μ_B , se o somente se, A é definível em termos de B e outros conceitos de μ_B ” [29].

Sob essa abordagem, o processo de redução manifesta-se como inclusão de uma entidade dentro de um grupo ou classe, apresentando, dessa forma, naturezas regressiva - na medida em consiste em uma aclaração (explicação) - e indutiva - efetivando uma generalização [54].

As reduções, no entanto, foram empreendidos sob a égide da Navalha de Ockham, que corresponde a um princípio geral e lógico de economia ontológica, que estabelece a premência por se buscar explicações mais simples possíveis, que explicitem o fenômeno estudado por completo, tornando o modelo conceitual representativo dele o mais elementar possível [53].

III. RESULTADO E DISCUSSÕES

Como resultado do primeiro momento, no mapeamento das construções e conceptualizações alternativas dos analistas [28] em relação às variáveis-chave que refletem a efetividade da distribuição de suprimentos às tropas em condições de combate, chegou-se ao seguinte diagrama (mapa cognitivo), constante da Fig. 1, e sua síntese, na Fig. 2.

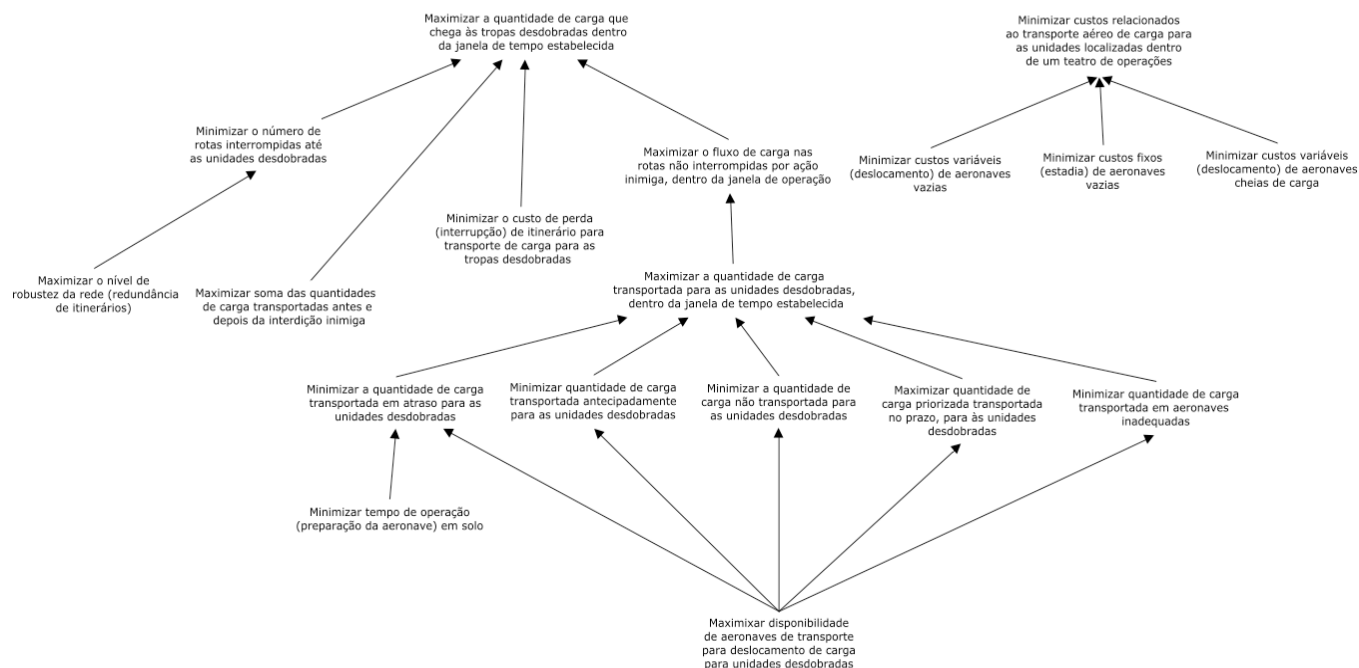


Fig. 1. Mapa cognitivo das otimizações relativas à distribuição de suprimentos empregando aeronaves militares.

Como início da análise do mapa, avaliou-se sua extensão, em função do número de nós existentes, atestando a sua baixa complexidade. Foram percebidas, também, ilhas de materiais isoladamente dispostas, e fracamente conectadas, tipicidades presentes em mapas construídos sobre análise textuais [18].

Posteriormente, foi ponderada a existência de *clusters*, ou sistemas de problemas [18], que fracionam o mapa em grupos de temas internamente homogêneos, desconsiderando, no entanto, suas hierarquias internas. Poderam ser percebidos, com referência às Fig. 1 e Fig. 2, três grandes categorias:

- Minimização de custos (nós 1 ao 4);
- Minimização de atrasos ou antecipações (nós 5, 7-13 e 18);
- Minimização de interferências na rede (nós 14 ao 18).

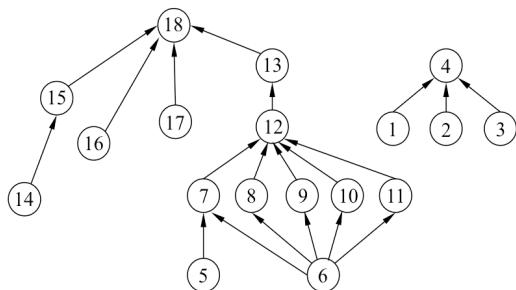


Fig. 2. Simplificação da Fig. 01.

Esses aspectos, que expõem fatores considerados centrais para se avaliar a eficiência de um sistema logístico de apoio a unidades desdobradas, podem ser observadas na Fig. 1.

Sobre a presença de *clusters* no mapa, considerando agora as hierarquias internas, e empregando as ideias de “construto cabeça” (*head*) - nós sem implicação, apresentando somente flechas incidentes - e “construto cauda” (*tail*) - nós com implicação, apresentando somente flechas emergindo [27] - as seguintes conclusões puderam ser auferidas:

- O *cluster* “custo”, o mais elementar, apresentou como *tails*, minimização dos custos devido ao emprego de aeronaves vazias, de aeronaves cheias e das aeronaves em solo, inoperantes; como *head*, apareceu a “minimização dos custos com transporte aéreo”;
- Sobre o *cluster* “atrasos ou antecipação”, manifestou-se como *tail* a “maximização da disponibilidade de meios aéreos”; como *head*, “a maximização da quantidade de carga que chega às tropas dentro da janela de operação”;
- No *cluster* “interferência”, os *tails* foram a “maximização da robustez da rede”, a “maximização da quantidade de carga transportada antes e depois da interdição inimiga” e a “minimização do custo de perda da rota”; como *head*, emergiu a “maximização da quantidade de carga que chega às tropas dentro da janela de operação”.

Percebe-se, de imediato, que o recebimento oportuno de carga pelas tropas depende não somente da existência de um adequado acervo de meios aéreos, mas também da idoneidade das rotas empregadas. Como consequência, preocupações em buscar se otimizar a distribuição às tropas precisa ensejar, simultaneamente, considerações sobre as condições dos entes estáticos do sistema logístico - vias e terminais - quanto dos dinâmicos - modais de transporte [3].

No que concerne ao domínio do mapa, os nós potentes - construtos manifestos em diversos *clusters* - como opções

mediatas que contribuem para se atingir o fim (*head* = função objetivo [27]), não puderam ser identificados.

Por fim, quanto à análise de domínio, considerando a existência de construtos centrais - *bridging nodes* [18] - no mapa, destacou-se o construto “maximização da quantidade de carga transportada para as tropas”, na medida em que totalizou 6 setas, considerando as imergentes e as emergentes.

Finda a análise do mapa, o processo de redução conceitual (moderado) iniciou-se, a fim de se identificar os construtos-essência. A escolha pelo chamado “reducionismo moderado” deveu-se ao fato de o mesmo apresentar-se como a estratégia de reduzir tanto quanto puder (completa ou parcialmente) um conceito, sem ignorar a variedade e a emergência [29].

Faz-se importante salientar que, na medida em que essa técnica compreende uma forma de categorização - pertinência a uma dada classe de entidades (contextos μ_A ou μ_B) - apresenta-se, também, como uma operação epistêmica [55], tal qual a aplicação da Navalha de Ockham, visto dependerem exclusivamente do acervo de competências (conhecimentos) de quem a executa.

A redução conceitual, então, orientou-se para os aspectos da eficiência e da adaptabilidade do sistema logístico em estudo. O primeiro termo foi conceituado como a “relação entre ativos investidos e seu retorno”; a segunda, “geração de mudanças em um sistema em resposta a um estímulo” [52].

Sob essa nova rubrica, a partir dos *clusters* iniciais - “custos”, “atrasos-antecipações” e “interferências” - puderam ser obtidos outros mais fundamentais, guardando, no entanto, congruência aos respectivos campos semânticos. Mantendo-se a pertinência contextual, o *cluster* “custo” foi encerrado na categoria eficiência econômica, enquanto que os dois últimos, na categoria “adaptabilidade”, respectivamente sobre as denominações “agilidade” e “resiliência”.

O desenho do novo mapa cognitivo (reconfigurado, incluindo adições ao anterior), pode ser observado na Fig. 4, com sua síntese, para fins de análise, na Fig. 3.

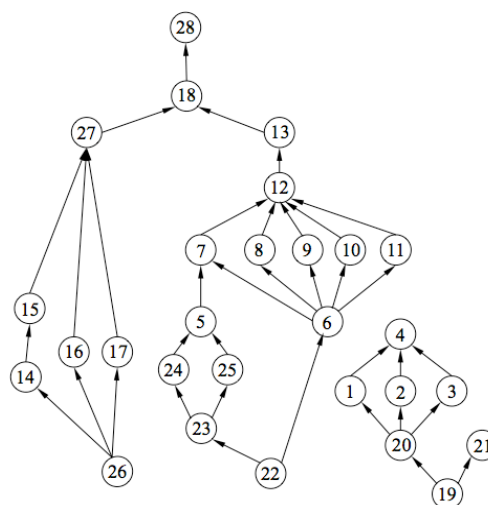


Fig. 3. Simplificação da Fig. 04.

Sobre essa nova matriz, após devidas conexões, os novos *clusters* reconfigurados foram tratados por: “maximizar eficiência” (nó 19, e os que o seguem até o nó 4), “maximizar agilidade” (nó 22, e os que o seguem, até o nó 28) e “maximizar resiliência” (nó 26, e os que o seguem até o nó 28).

IV. CONCLUSÕES

Com base no resultado dos esforços despendidos para se obter um bom grau de aderência entre o desenho dos modelos de otimização, focados na resolução de problemas relativos à distribuição de suprimentos em combate, empregando modais aéreos militares, e as medidas de eficiência e adaptabilidade, pode-se verificar a existência de nítidas conexões, todas de natureza semântica.

A redução metodológica moderada, empreendida à luz da Navalha de Ockham, ambos fundados sobre matriz epistêmica individual, produziu um conjunto de categorias amplas e consistentes de perspectivas que poderão contribuir para o desenvolvimento de novos modelos matemáticos. Esses, visto sob a ótica de trabalhos futuros, poderão considerar instâncias mais fundamentais - “agilidade” e “resiliência” da rede logística de combate, e “custo” de sua operação - auxiliando, dessa forma, planejadores militares no esforço de alocar, de forma otimizante, ainda na fase de concepção da operação, os meios disponibilizados para a ação militar, sejam eles aeronaves, sejam rotas ou terminais.

REFERÊNCIAS

- [1] Brasil, Presidência da República, Casa Civil, Constituição da República Federativa do Brasil, Brasília, 1988.
- [2] P. Steven, “Combat logistics problems”, Doctoral dissertation, Naval Postgraduate School, 1989.
- [3] M. Kress, Operational logistics: the art and science of sustaining military operations, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [4] Brasil, Ministério da Defesa, Secretaria de Política, Estratégia e Assuntos Internacionais, Doutrina Militar de Defesa (MD51-M-04), Brasília, 2007.
- [5] A. G. Loerch, L. B. Rainey, Methods for Conducting Military Operational Analysis, Military Operations Research Society, 2007.
- [6] R. T. Brigantic, D. Merrill, “The algebra of airlift”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, p. 649–656, 2004.
- [7] S. F. Smith, M. A. Becker, L. A. Kramer, “Continuous management of airlift and tanker resources: A constraint-based approach”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, p. 581–598, 2004.
- [8] N. P. Sherman, J. P. Kharoufeh, “Analytical modeling of joint reception, staging, onward movement, and integration”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, p. 799–815, 2004.
- [9] A. K. Rathi, R. L. Church, R. S. Solanki, “A macro level analysis of the airlift deployment problem”, Computers & Operations Research, vol. 19, no. 8, p. 731–742, 1992.
- [10] G. G. Brown, W. M. Carlyle, R. F. Dell, “Optimizing intratheater military airlift in Iraq and Afghanistan”, Military Operations Research, vol. 18, no. 3, p. 35–52, 2013.
- [11] J. R. Crino, J. T. Moore, J. W. Barnes, W. P. Nanry, “Solving the theater distribution vehicle routing and scheduling problem using group theoretic tabu search”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, p. 599–616, 2004.
- [12] P. S. Whiteman, “A target selection tool for Network Interdiction”, 64th MORS Symposium Working Group 1, 1996.
- [13] K. R. Gue, “A dynamic distribution model for combat logistics”, Computers & Operations Research, vol. 30, p. 367–381, 2003.
- [14] N. K. Jaiswal, Military Operations Research: Quantitative Decision Making, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [15] J. Bracken, M. Kress, R. E. Rosenthal, Warfare Modeling, Military Operations Research Society, 1995.
- [16] D. M. Gabbay, P. Thagard, J. Woods, Handbook of the Philosophy of Science, vol. 10 - Philosophy of Complex Systems, 2011.
- [17] A. H. Dekker, Adaptivity in Networked Complex Systems. International Conference on Systems Engineering/Test and Evaluation, Canberra, 2008.
- [18] J. M. Bryson, F. Ackermann, C. Eden, C. B. Finn, Visible Thinking: Unlocking Causal Mapping Business Results, John Wiley Sons, 2004.
- [19] M. N. Wexler, “The who, what and why of knowledge mapping”, Journal Knowledge Management, vol. 5, p. 246–263, 2001.
- [20] A. Jetter, J. Kraaijenbrink, H. Schröder, F. Wijnhoven, Knowledge Integration: The Practice of Knowledge Management in Small and Medium Enterprises, Physica-Verlag, 2006.
- [21] G. A. Kelly, The Psychology of Personal Construct, 1955.
- [22] M. G. Wessels, Cognitive Psychology, Harper & Row, 1982.
- [23] M. Pidd, Systems Modelling: Theory and Practice, John Wiley & Sons, 2004.
- [24] Department of Defense, Department of Defense Sponsored Information Security Research, John Wiley & Sons, 2007.
- [25] R. Axelrod, Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elite, Princeton Press, 2015.
- [26] C. Eden e F. Ackermann, “Cognitive mapping expert views for policy analysis in the public sector”, vol. 152, p. 615–630, European Journal of Operations Research, 2004.
- [27] C. Eden, “Analysing cognitive maps to help structure issues or problems”, vol. 159, p. 673–686, European Journal of Operations Research, 2004.
- [28] J. Mingers, Realising Systems Thinking: Knowledge and Action in Management Science, Springer, 2006.
- [29] M. Bunge, Treatise on Basic Philosophy, vol. 6 - Epistemology and Methodology II: Understanding the world, D. Reidel Publishing Company, 1983.
- [30] W. B. Powell, Tongquiang, Tony Wu, H. P. Simao, “Using low-dimensional patterns in optimization simulators: An illustration for the military airlift problem”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, p. 657–675, 2004.
- [31] S. A. Wright, K. W. Bauer Jr, M. E. Oxley, “The covalidation of dissimilarly structured strategic airlift models”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, p. 677–696, 2004.
- [32] S. J. Clark, C. Barnhart, S. E. Koltz, “Large-scale optimization planning methods for the distribution of United States Army munitions”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, p. 697–714, 2004.
- [33] D. P. Johnstone, R. R. Hill, J. T. Moore, “Mathematically modeling munitions prepositioning and movement”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, p. 759–772, 2004.
- [34] S. M. Swartz, A. W. Johnson, “A multimethod approach to the combat ari forces mix and deployment problem”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, p. 773–797, 2004.
- [35] J. J. de Nijs, “The NATO strategic commanders' assessment of requirements for strategic sea and airlift”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 39, p. 869–883, 2004.
- [36] J. Salmeron, R. Kevin Wood, D. P. Morton, “A stochastic program for optimizing military sealift subject to attack”, Military Operations Research Journal, vol. 14, no. 2, p. 19–39, 2009.
- [37] D. L. Alderson, G. G. Brown, W. M. Carlyle, L. A. Cox, “Sometimes there is no 'most-vital arc': assessing and improving the operational resilience of systems”, Military Operations Research, vol. 18, no. 1, p. 21–37, 2013.
- [38] D. P. Morton, R. E. Rosenthal, L. T. Weng, “Optimization modeling for airlift mobility”, Military Operations Research, vol. 1, no. 4, p. 49–67, 1996.
- [39] T. A. Lenhardt, “Evaluation of a USMC combat service support logistics concept”, Mathematical and Computer Modelling, vol. 44, p. 368–376, 2006.
- [40] C. G. Koepke, A. P. Armacost, C. Barnhart, S. E. Koltz, “An interger programming approach to support the US Air Force's air mobility network”, Computers & Operations Research, vol. 35, p. 1771–1788, 2008.
- [41] I. Akgün, B. Ç Tansel, “Optimization of transportation requirements in the deployment of military units”, Computers & Operations Research, vol. 34, no. 4, p. 1158–1176, 2007.

- [42] J. G. Taylor, "Annihilation prediction for Lanchester-type models of modern warfare with logistics constraints", *Mathematical modelling*, vol. 3, p. 323-340, 1982.
- [43] S. Sebbah, A. Ghanmi, A. Boukhtouta, "A column-and-cut generation algorithm for planning of Canadian armed forces tactical logistics distribution", *Computers & Operations Research*, vol. 40, p. 3069-3079, 2013.
- [44] M. Barad, D. E. Sapir, "Flexibility in logistics systems - modeling and performance evaluation", *International of Production Economics*, vol. 85, p. 155-170, 2003.
- [45] W. Jie, W. Wen, "Research on 6R military logistics network", *Physics Procedia*, vol. 33, p. 678-684, 2012.
- [46] G. G. Brown, W. M. Carlyle, J. Salmerón, K. Wood, "Analyzing the vulnerability of critical infrastructure to attack and planning defense", In: H. J. Greenberg, J. C. Smith, *Tutorials in Operations Research: emerging theory, methods, and applications*, INFORMS, 2005.
- [47] I. Arkün, B. Ç Tansel, R. K. Wood, "The multi-terminal maximum-flow network-interdiction problem", *European Journal of Operations Research*, vol. 211, p. 241-251, 2011.
- [48] M. Garg, J. C. Smith, "Models and algorithms for the design of survivable multicommodity flow networks with general failure scenarios", *Omega*, p. 1057-1071, 2008.
- [49] D. Granata, G. Steeger, S. Rebennack, "Network interdiction via a critical disruption path: branch-and-price algorithms", *Computers & Operations Research*, vol. 40, p. 2689-2702, 2013.
- [50] K. T. Kennedy, "Synthesis, interdiction, and protection of layered networks", PhD Thesis, Air Force Institute of Technology, 2009.
- [51] J. R. O'Hanley, R. L. Church, "Designing robust coverage networks to hedge against worst-case facility losses", *European Journal of Operations Research*, vol. 209, p. 23-36, 2011.
- [52] A. M. Grisogono e M. Spaans, "Adaptive use of networks to generate an adaptive task force", in *Proceedings of 13th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS)*, Washington, 2008.
- [53] S. E. Johnson, M. C. Libicki, G. F. Treverton, *New Challenges, New Tools for Defense Decisionmaking*, RAND Corporation, 2003.
- [54] J. F. Mora, *Dicionário de Filosofia*, tomo IV, Edições Loyola, 1994.
- [55] P. Y Wan, *Reframing the Social: Emergentist Systemism and Social Theory*, Ashgate Publishing Ltd., 2013.