

Estimativa de custos de ciclo de vida sob escassez de dados

por *Luiz Octávio Gavião, D.Sc.*¹
e *Aline Neves Baptista, MBA*²

1. Introdução

As decisões gerenciais podem ser melhor fundamentadas com base na análise de dados, entre as quais se destacam as considerações de natureza econômico-financeira. Nesse contexto se inclui a estimativa de custos de ciclo de vida (CCV), um importante dado para a assessoria de investimento em defesa. O desconhecimento dos custos envolvidos para criar, adquirir, operar, manter e se desfazer de um sistema de armas pode impactar na prontidão de uma Força. Em geral, um sistema com alta tecnologia embarcada apresenta elevado CCV, que, no longo prazo, pode contribuir para o seu sucateamento, caso a necessidade orçamentária do novo meio seja superior aos recursos recebidos pela Força.

Os novos produtos de defesa (PRODE) oriundos de projetos de pesquisa e desenvolvimento ou mesmo adquiridos por oportunidade, carecem, em geral, de registros históricos de custos. O desconhecimento ou insuficiência de dados na estrutura de custos para o novo PRODE compromete ou reduz a acurácia dos modelos matemáticos de previsão. No que se refere ao planejamento orçamentário das Forças, é essencial conhecer o real impacto de um eventual investimento nas despesas futuras relacionadas à operação e manutenção dos meios e sistemas operativos. O objetivo principal disto é que haja o correto dimensionamento da repercussão financeira ao longo dos exercícios subsequentes. Isto recebe a denominação na literatura de “*affordability*” (Melese, 2015).

Em recente entrevista ao jornal Valor Econômico, o Comandante da Marinha expôs a preocupação de manter os meios navais com os recursos orçamentários anuais. Os valores mencionados indicam uma diferença anual aproximada de 50% entre as necessidades da Marinha e a disponibilidade orçamentária para operações e apoio. Por necessidade de reaparelhamento de meios navais com ciclo de vida estendido, a Marinha prossegue com novos projetos de desenvolvimento e aquisição de navios (Rosa, 2018). Entre os principais projetos recentes, destacam-se a aquisição do Porta Helicópteros Multipropósito (PHM) Atlântico, o desfazimento do Navio Aeródromo São Paulo, a construção de submarinos e das corvetas classe Tamandaré (Marinha, 2018; Nitahara, 2018; Padilha, 2018). As estimativas de CCV

^{1 2} Escola Superior de Guerra

proporcionam melhores condições de planejamento da gestão orçamentária da Força, contribuindo para a sua sustentabilidade econômica. Entretanto, as novas aquisições se enquadram no contexto do cálculo do CCV sob escassez de dados.

A coleta de dados constitui uma etapa importante para a atividade de cálculo do CCV. Os custos relevantes ao cálculo da estimativa de CCV estão descritos na Seção 2, que apresenta a Estrutura Analítica de Custos (EAC) e as soluções implementadas na Marinha norte-americana para a gestão do seu banco de dados. A Seção 3 traz um panorama dos principais métodos utilizados para a modelagem de CCV, com ênfase aos modelos utilizados em ambiente de escassez de dados. A Seção 4 apresenta o andamento das pesquisas em CCV e futuros projetos relacionados ao estudo do CCV em ambiente de escassez de dados.

2. A Estrutura Analítica de Custo (EAC)

O registro dos custos é organizado sob uma EAC, que envolve uma hierarquia de atividades de custo necessárias para a obtenção, operação/apoio e desfazimento dos PRODE (Blanchard, 2008). Os custos de obtenção (CO) são despendidos do início da fase de concepção até o término da fase de produção. São divididos em custos de Pesquisa e Desenvolvimento (CPD), despendidos durante as fases de concepção e de desenvolvimento. Os custos de investimento (CI) são destinados à produção, apoio e estabelecimento da capacidade operativa inicial, sendo vinculados às fases de contrato e de execução. A aquisição direta de sistemas da indústria internacional de defesa em compras de oportunidade, por exemplo, está incluída nos custos de obtenção. Os custos de operação e apoio (COA) envolvem os custos diretos e indiretos necessários para operar e manter as capacidades e características do sistema que está sendo gerenciado ou adquirido. Em geral, os COA consistem na maior parcela dos CCV, podendo atingir valores superiores a 70% do montante final (Gansler & Lucyshyn, 2015). Cabe também destacar que os COA incluem os custos diretos com pessoal, que, em geral, representam a maior parcela do COA. Por fim, os custos de desfazimento (CD) são atinentes ao encerramento das atividades operativas do PRODE (OTAN, 2003).

A doutrina de Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa, em fase de elaboração no Centro de Apoio a Sistemas Logísticos de Defesa (CASLODE), apresenta um modelo detalhado de EAC, cujas categorias de custos estão descritas na Tabela 1. Esse modelo de EAC segue a padronização da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN). A equação que define o CCV consiste na soma de 34 categorias de custos das fases de obtenção, operações e apoio e desfazimento.

As estimativas de CCV devem ser elaboradas com base na EAC, que depende da coleta e organização dos dados. O processo de CCV é orientado por dados, cuja quantidade e qualidade definem os métodos e modelos a serem aplicados nas análises. Quanto maior e melhor organizado o banco de dados sob os moldes da EAC, melhor a capacidade de previsão e análise de sustentabilidade econômica da Força.

Tabela 1- EAC proposta pelo CASLODE

Fases do Ciclo de Vida	Categorias de custos
Obtenção (P&D)	Custos de planejamento de P&D Custos de gerência de P&D Custos de engenharia de P&D Custos de avaliação de P&D Custos de equipamentos de P&D Custos de instalações e apoio para P&D
Obtenção (Investimento)	Custos de produção de investimento Custos de planejamento de investimento Custos de gerência de investimento Custos de sobressalentes iniciais Custos de equipamentos de apoio inicial Custos de manuais técnicos Custos de investimento de engenharia Custos de investimento em instalações de apoio Custos iniciais em transporte e armazenagem
Operação e Apoio	Custos diretos de pessoal em O&A Custos de material de consumo de O&A Custos de sobressalentes de recompletamento de O&A Custos de equipamentos de apoio para O&A Custos de instalações de apoio diretas de O&A Custos de manutenção direta de O&A Custos de transporte e armazenagem para O&A Custos de dados técnicos de O&A Custos de gerência de suprimentos de O&A Custos de modificações de O&A Custos indiretos de pessoal de O&A Custos indiretos de instalações de apoio para O&A Custos indiretos de treinamento de O&A
Desfazimento	Custos de fechamento de inventário para desfazimento Custos de transporte e armazenagem para desfazimento Custos de gerência de dados para desfazimento Custos de revisão para desfazimento Custos de desmilitarização para desfazimento Custos de gerência do material sem uso destinado ao desfazimento

Fonte: BRASIL (2017).

No Departamento de Defesa dos EUA, o registro sistemático de dados de CCV foi iniciado em 1975, por influência de Robert McNamara. Durante a década de 1960, o ex-Secretário de Defesa fundamentava sua tomada de decisão em modelos quantitativos e na análise de dados. Para a gestão do ciclo de vida dos meios navais, a Marinha desenvolveu uma base de dados denominada “*Navy Visibility and Management of Operating and Support Costs*” (VAMOSC). Desde 1992 esse sistema é gerenciado pelo *Naval Center for Cost Analysis* (NCCA), que registra o histórico dos COA das unidades da Marinha e do Corpo de Fuzileiros Navais (US Navy, 2018).

No VAMOSC, os dados de custo incluem despesas ou obrigações coletadas anualmente, a partir de mais de 130 fontes diferentes. Assim, é possível selecionar um navio e verificar o

histórico de COA desde o início de sua vida operativa³. Os analistas de custos exploram os dados do VAMOSC para desenvolver as estimativas de CCV para futuros sistemas de armas (US Navy, 2018). O acesso aos dados é franqueado aos funcionários e agências do governo dos EUA, incluindo o setor acadêmico-militar, que utiliza os dados para o desenvolvimento de pesquisas que realimentam a comunidade de aquisição, com destaque ao *Defense Resource Management Institute* (DRMI), da *Naval Postgraduate School* (Melese, Richter, & Solomon, 2015).

3. Modelos de Estimativa de Custos

No desenvolvimento das estimativas de CCV, os modelos utilizados são baseados numa estrutura definida de custos. Os dados para esses modelos são estimados por métodos paramétricos ou empíricos. O uso de mais de um modelo para produzir uma estimativa de custo do ciclo de vida é considerado uma boa prática (OTAN, 2007). A Tabela 2 descreve as principais categorias e métodos utilizados. Cabe destacar a importância da Pesquisa Operacional para a estimativa de CCV, tendo em vista que os métodos mencionados estão incluídos nessa área do conhecimento.

Tabela 2 - Categorias e métodos de estimativa de CCV

Categorias	Métodos
Otimização	Programação Linear e modelos heurísticos
Simulação	Análise dinâmica de sistemas, simulação de eventos discretos e simulação de Monte Carlo
Inferência	Modelo por analogia, paramétrico, bayesiano, de engenharia, por catálogo, por regra de aproximação ou especialistas
Apoio à Decisão	Processo de Análise Hierárquica (AHP) e Apoio à Decisão Multicritério.

Fonte: OTAN (2007).

As estimativas de custos não estão restritas à aplicação de um modelo único para a EAC. Pode ser utilizada uma abordagem diferente para cada fase da estimativa, configurando uma combinação de métodos. Por ocasião da escolha de um método de estimativa, o analista deve atentar que o cálculo de CCV é uma previsão de custos futuros, baseados em uma interpretação lógica dos dados disponíveis. Portanto, a disponibilidade de dados será um fator importante na escolha da metodologia.

A escassez de dados referentes aos novos projetos ou aquisições recentes por oportunidade impõe o uso de modelos capazes de lidar com a incerteza e imprecisão do processo. Dessa

³ Uma amostra não classificada dos dados do VAMOSC pode ser obtida em: https://www.vamosc.navy.mil/webpages/reports/sample_data/sample_report_individual_shipv2.xls

forma, os modelos de simulação e inferência ganham destaque, por privilegiarem o uso de parâmetros por analogia a meios similares e o uso de opiniões de especialistas do setor, para o levantamento de parâmetros aproximados do problema. Esses modelos aproximativos são amplamente explorados em Pesquisa Operacional, por permitirem a tomada de decisão em ambiente de incerteza e imprecisão de dados (Kochenderfer, 2015). Neste artigo são abordados alguns métodos comuns e eficazes para as estimativas de CCV sob escassez de dados: a simulação de Monte Carlo, o modelo por analogia, a opinião de especialistas e a inferência Bayesiana.

Os métodos de Monte Carlo são algoritmos computacionais que se baseiam em amostragens aleatórias repetidas para obter resultados numéricos. São frequentemente usados em problemas matemáticos cuja complexidade dificulte o uso de abordagens determinísticas. Os métodos de Monte Carlo são usados principalmente em três classes de problemas: otimização, integração numérica e geração de gráficos a partir de distribuição de probabilidade (Kroese, Brereton, Taimre, & Botev, 2014).

Os métodos de Monte Carlo seguem um padrão de procedimentos. Inicialmente são definidos os domínios das variáveis, são gerados valores aleatórios das variáveis a partir de uma distribuição de probabilidade, são efetuados os cálculos com os valores gerados e os resultados são agregados. No caso da análise dos CCV, as variáveis em questão são as categorias de custos da EAC. A equação de custos também está definida, a partir do somatório dessas categorias. São então definidos parâmetros para cada categoria de custo e definidas as distribuições de probabilidade correspondentes. Após a simulação e soma dos valores aleatórios aos custos, os resultados podem ser descritos estatisticamente (ex. valores dos limites mínimo e máximo, média, valor mais provável, intervalos de confiança, entre outros).

O método por analogia ou comparativo assume que nenhum PRODE representa um sistema totalmente novo. A maioria dos novos programas e projetos se originam ou são desenvolvidos a partir dos já existentes ou simplesmente representam uma combinação de modelos conhecidos. O método análogo compara um novo sistema com um ou mais sistemas existentes para os quais existem dados técnicos e precisos de custos. Os dados históricos para a analogia devem guardar semelhança, em termos de dimensão, complexidade e escopo.

O analista avalia subjetivamente as diferenças entre o novo sistema de interesse e o sistema conhecido. Normalmente, engenheiros ou especialistas são convidados a fazer a avaliação técnica das diferenças entre os sistemas. Com base nessas avaliações, o analista de custos avalia o impacto das diferenças técnicas. A comparação deve considerar os sistemas, subsistemas e componentes relevantes dos sistemas. Uma adequada analogia gera credibilidade e reduz a incerteza acerca da estimativa de CCV. Entretanto, o grau de inovação dos novos projetos pode dificultar o uso de sistemas análogos ou mesmo tornar complexa a avaliação técnica por engenheiros e especialistas.

A opinião de especialistas pode ser usada quando os dados necessários para usar outras técnicas não estão disponíveis. Uma estimativa criteriosa realizada por um especialista na área sob estudo representa um valioso dado para a modelagem. As estimativas de CCV têm explorado com frequência essa técnica (Korpi & Ala-Risku, 2008). Vários especialistas podem ser consultados até que seja estabelecida uma estimativa de custo de consenso. Pesquisando um número de especialistas independentemente para atingir um consenso de opinião, a técnica Delphi também pode ser usada para fornecer uma opinião coletiva. Outras técnicas para a agregação da opinião de especialistas podem ser encontradas em trabalhos específicos sobre o tema (Ayyub, 2001; Gavião, Lima, Sant'Anna, Garcia, & Colombo, 2017).

A inferência bayesiana é um método de inferência estatística no qual o teorema de Bayes é usado para atualizar a probabilidade de uma hipótese à medida em que mais evidências ou informações se tornam disponíveis. A inferência bayesiana encontrou aplicação em uma ampla gama de atividades, incluindo a engenharia, filosofia, medicina, ciências do esporte e direito. A inferência bayesiana é uma técnica importante em estatística e útil para as estimativas de CCV (Lo, Ma, & Lo, 2005).

A inferência bayesiana deriva a probabilidade *a posteriori* como consequência de dois antecedentes: uma probabilidade *a priori* e uma "função de verossimilhança", obtida a partir de um modelo estatístico para os dados observados. A inferência bayesiana calcula a probabilidade *posteriori* de acordo com o teorema de Bayes. No caso da estimativa de CCV, uma probabilidade de custos anteriormente conhecida é atualizada a partir de novos dados.

Uma aplicação da inferência bayesiana é aqui apresentada. Supondo uma determinada estimativa de CO de um navio em 10 milhões de unidades monetárias, com desvio-padrão de 3 milhões. Esta é a estimativa inicial, ou seja, a distribuição *a priori* dos custos. Essa informação pode decorrer do histórico de dados de navios da mesma classe, por exemplo. Entretanto, existem informações mais recentes que estimam o valor do CO em 12 milhões, com desvio-padrão de 4 milhões. Nesse caso, esse novo dado pode ser associado à função de verossimilhança do modelo bayesiano. Essas estimativas *a priori* e de verossimilhança não são incompatíveis, apenas necessitam de agregação estatística. A inferência bayesiana permite efetuar esse cálculo, em busca da distribuição de probabilidade *a posteriori* que descreva o comportamento estatístico desses CO.

4. Pesquisas em andamento e novos projetos

Os métodos de estimativa de CCV sob ambiente de escassez de dados estão sendo explorados no Programa de Pós-graduação em Segurança Internacional e Defesa (PPGSID), da Escola Superior de Guerra (ESG). A disciplina de Logística de Defesa incluiu estudos de caso aplicados nos cursos da *Naval Postgraduate School*, da Marinha norte-americana, publicados sob a forma de teses, dissertações, artigos e relatórios. Nesses trabalhos, foram explorados modelos de regressão linear para estimar os COA dos meios navais daquela Marinha.

As bases de dados e os resultados obtidos em outras Marinhas podem ser adaptados aos métodos aqui descritos. Nesse caso, a inferência bayesiana pode ser conjugada com métodos por analogia, opinião de especialistas e simulações de Monte Carlo para estimar os custos dos novos meios em construção ou recém adquiridos por compra de oportunidade. Nesse caso estão incluídos o PHM Atlântico, as corvetas classe Tamandaré, os navios patrulha de 500 toneladas de deslocamento, entre outras novas aquisições.

Em relação aos projetos futuros, visualiza-se o emprego de simulações de Monte Carlo com as categorias de custos da EAC, descritas na Tabela 1. Inicialmente deve-se buscar, em fontes abertas, uma relação entre os recursos alocados aos meios navais e as categorias da EAC, de forma a reunir valores aproximados dos CCV. Em seguida, um levantamento junto a especialistas com experiência nesses meios será necessário para simular parâmetros de distribuições de probabilidade, a serem aplicadas no método de Monte Carlo. Os resultados esperados são valores aproximados dos CCV dos meios selecionados no estudo.

Cabe ainda destacar que os modelos de regressão utilizados no *Naval Postgraduate School* podem ser comparados a outras técnicas de aprendizado de máquina, capazes de reduzir o erro médio às equações de regressão, a exemplo das redes neurais, algoritmos genéticos, vetores de suporte, entre outras. Essas técnicas podem produzir melhores resultados. Nessa perspectiva, as novas pesquisas devem contribuir para a consolidação do processo de se estimar o impacto dos investimentos nas despesas correntes futuras, tornando possível o relacionamento com o CCV.

Luiz Octávio Gavião, D.Sc. Escola Superior de Guerra (ESG)

Aline Neves Baptista, MBA. Escola Superior de Guerra (ESG)

Referências

- AYYUB, B. M. (2001). Elicitation of expert opinions for uncertainty and risks. Boca Raton: CRC press.
- BLANCHARD, B. S. (2008). System engineering management (4th ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- BRASIL. (2017). Doutrina de Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa - minuta. Brasília-DF: Ministério da Defesa - Centro de Apoio a Sistemas Logísticos de Defesa.
- GANSLER, J. S., & LUCYSHYN, W. (2015). Allocating national security resources. In F. Melese, A. Richter, & B. Solomon (Eds.), *Military Cost-Benefit Analysis* (1st ed., pp. 52-69). New York: Routledge.
- GAVIÃO, L. O., LIMA, G. B. A., SANT'ANNA, A. P., GARCIA, P. A. de A., & COLOMBO, D. (2017). Modelagem por Composição Probabilística de Preferências (CPP) para Agregação de Estimativas de Especialistas na Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA). In Congresso da Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processos e Confiabilidade - ABRISCO. Rio de Janeiro.
- KOCHENDERFER, M. J. (2015). *Decision making under uncertainty: theory and application*. MIT press.

KORPI, E., & ALA-RISKU, T. (2008). Life cycle costing: a review of published case studies. *Managerial Auditing Journal*, 23(3), 240–261.

KROESE, D. P., BRERETON, T., TAIMRE, T., & BOTEY, Z. I. (2014). Why the Monte Carlo method is so important today. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 6(6), 386–392.

LO, S.-C., MA, H., & LO, S.-L. (2005). Quantifying and reducing uncertainty in life cycle assessment using the Bayesian Monte Carlo method. *Science of the Total Environment*, 340(1–3), 23–33.

MARINHA. (2018). A Marinha do Brasil dá as boas vindas ao Porta-Helicópteros Multipropósito “Atlântico.” Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/hotsites/atlantico/>> Acesso em 10 de out. 2018.

MELESE, F. (2015). The economic evaluation of alternatives. In *Military Cost–Benefit Analysis* (pp. 108–144). Routledge.

MELESE, F., RICHTER, A., & SOLOMON, B. (2015). *Military Cost–Benefit Analysis: Theory and practice*. Routledge.

NITAHARA, A. (2018). Temer destaca importância da construção de submarinos em Itaguaí. Agência Brasil, 1 (1). Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2018-02/temer-destaca-importancia-da-construcao-de-submarinos-em-itaguaui>>.

OTAN. (2003). RTO TECHNICAL REPORT TR-SAS-058 - Cost Structure and Life Cycle Costs for Military Systems. Brussels.

_____. (2007). RTO TECHNICAL REPORT TR-SAS-054 - Methods and Models for Life Cycle Costing.

PADILHA, L. (2018). Marinha adia decisão de licitação de R\$ 6 bi. Disponível em: <<http://www.defesaaereanaval.com.br/marinha-adia-decisao-de-licitacao-de-r-6-bi/>> Acesso em 10 de out. 2018.

ROSA, J. L. (2018). Submarinos podem atrasar mais se houver novos cortes. *Valor Econômico*, 1(1). Disponível em: <<https://www.valor.com.br/brasil/5810051/submarinos-podem-atrasar-mais-se-houver-novos-cortes>>.

US NAVY. (2018). Navy Visibility and Management of Operating and Support Costs (VAMOSC). Disponível em: <<https://www.vamosc.navy.mil/webpages/general/about.cfm>> Acesso em 10 de out. 2018.

O IGEE preza pela sua opinião.
Envie seu comentário para **cee18@esg.br**