SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA ANÁLISE DA MANUTENÇÃO DAS VIATURAS BLINDADAS PIRANHA DO CORPO DE FUZILEIROS NAVAIS

Fabricio Baroni de Carvalho
CASNAV – Centro de Análises e Sistemas Navais
Praça Barão de Ladário s/nº – Rio de Janeiro – RJ – 20091-000
baroni.fabricio@yahoo.com.br

Fernando Queiroz de Lira Alexandrino, **Edilson Fernandes de Arruda** e **Glaydston Mattos Ribeiro**
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia
Avenida Horácio Macedo 2030 – Rio de Janeiro – RJ – 21941-914
fernando.hnd@gmail.com, efarruda@po.coppe.ufrj.br, glaydston@pet.coppe.ufrj.br

RESUMO

O Corpo de Fuzileiros Navais é uma Força que opera em território hostil, submetendo a tropa a alto risco. Em tal situação, é fundamental o emprego da ação de choque: um trinômio composto pela mobilidade, proteção blindada e poder de fogo. Essa ação de choque é fornecida por blindados como a viatura PIRANHA. Com o crescente apoio às operações policiais e com a intenção manifestada pela Presidência da República em fazer o Brasil ocupar uma vaga no Conselho de Segurança da Organização das Nações Unidas, a demanda pelo emprego desse tipo de viatura tende a crescer. Com isso, a demanda pelos serviços de manutenção acompanhará esse crescimento. O objetivo deste trabalho é desenvolver modelos de simulação a eventos discretos que representem diversos cenários de manutenção, diante de variações das demandas, a fim de permitir a redução do tempo total em manutenção e reparo das viaturas.

PALAVARAS CHAVE. Simulação, Manutenção, Blindados.

Tópicos: SIM - Simulação.

ABSTRACT

The Brazilian Marine Corps is a force whose operations occur in hostile territory and exposes the troops to high risk. In such a situation, the use of shock action, namely, a triad comprised of mobility, armor protection and firepower, is essential. Armored vehicles like PIRANHA provide shock action. With the increased use of the corps to support police operation, allied to the announced Brazilian intention of joining the United Nations Security Council, one can expect an increased demand for armored vehicles. As a consequence, the demand for maintenance services will increase as well. The objective of this paper is to develop discrete events simulation models to representing various maintenance scenarios, with changes in demands, in order to identify policies to reduce the overall maintenance time of armored vehicles.

KEYWORDS. Simulation, Maintenance, Armored-vehicle.

Paper topics: SIM - Simulation.

1. Introdução

Com a crescente participação do CFN no apoio às operações policiais e a intenção do Brasil em ocupar uma vaga no conselho de segurança da ONU, a demanda pelo apoio de blindados tem aumentado ao longo dos anos. Consequentemente a demanda por manutenção também aumenta. Nesse tipo de operação, as viaturas blindadas para transporte de pessoal são as mais utilizadas. O Corpo de Fuzileiros Navais dispõe da Viatura Blindada Especial Sobre Rodas 8x8 PIRANHA IIIC, conforme ilustrado na Figura 1, fabricada pela empresa suíça MOWAG – integrante do grupo *General Dynamics European Land Systems*.

Figura 1 - Viatura Blindada Especial Sobre Rodas 8x8 PIRANHA IIIC
Fonte: MOWAG (2007)

Um aspecto importante é o fato de que nas indústrias em geral, o mecânico realiza exclusivamente a função para a qual foi contratado (manutenção de equipamentos). Já o mecânico militar é, antes de tudo, um soldado. Como tal, possui tarefas inerentes a esta condição. Dessa forma, o mecânico tem como obrigação realizar as atividades de manutenção, realizar exercícios militares como todos os outros soldados, representar a Organização Militar em que serve nos diversos eventos em que for designado, além de outras atividades colaterais. Esses fatos acabam por dificultar a modelagem da manutenção de blindados de forma analítica.

A análise do processo de manutenção de equipamentos, visando o aumento da eficiência, é uma preocupação de vários segmentos produtivos. Embora a Pesquisa Operacional tenha sua origem no segmento militar, poucos institutos e pesquisadores se dedicam a essa área de aplicação. Pode-se citar o *Centre for Operational Research and Analysis* do *Defense Research and Development Canada*, o *Royal Military College of Science at Shrivenham* no Reino Unido, a *Military Operations Research Society* e a *Naval Postgraduate School* nos Estados Unidos. No oriente há grande estudo dirigido, no entanto ainda há barreiras para divulgação das informações. Destacam-se: *College of Management* em Taiwan e a *University of Aeronautics and Astronautics* da China. Naturalmente, muitos dos estudos desenvolvidos não são publicados devido ao caráter estratégico. De maneira geral, diversas abordagens têm sido adotadas. Alguns trabalhos foram selecionados e serviram como referência para este artigo devido à significativa contribuição para o estudo do tema, apesar das diferentes abordagens adotadas. No entanto, nenhum deles contempla o caráter especial do mecânico militar, que além das atividades de manutenção executa também atividades alheias à sua função, não sendo o seu tempo disponível para o trabalho integralmente dedicado à manutenção.

Sarker e Haque (2000) chamam a atenção para o fato de políticas de manutenção e de estoques serem normalmente tratadas em separado, havendo sempre uma tendência a elevar os níveis de estoque, o que aumenta os custos. Afirmam que os programas de manutenção devem reduzir os custos de processo e de estoque.

Yong *et al.* (2001) estabeleceram um modelo de simulação para o processo de

manutenção de blindados baseado na teoria das filas, utilizando o *software* Extend®. Partindo do tempo entre manutenções e da duração dessas, o referido trabalho avalia o tempo de permanência das viaturas no sistema de manutenção, no entanto não considera indisponibilidade de sobressalentes ou ausências dos mecânicos. Kruger (2003) expõe a importância da arte da modelagem em qualquer abordagem por simulação, e define posturas usualmente observadas que influenciam o desempenho do modelo.

Sun (2004) analisou o processo de manutenção de oito oficinas do Exército de Taiwan por um período de um ano. Os dados coletados nos seis primeiros meses foram avaliados segundo a metodologia de análise envoltória de dados (DEA). A partir dos parâmetros de eficiência definidos pela análise, foram feitas modificações nos procedimentos de cinco oficinas anteriormente definidas como ineficientes, que passaram a apresentar aumento de produtividade. O Exército de Taiwan passou então a empregar DEA oficialmente como uma ferramenta de avaliação de desempenho. O trabalho foi desenvolvido baseado no princípio de que um aumento da produtividade se traduz em um aumento da capacidade operacional.

Rezg *et al.* (2004) propõem um método integrado para manutenção preventiva e controle de estoque. A simulação é utilizada para modelar e simular o comportamento da linha de produção sob várias estratégias. Resultados de um modelo analítico, obtidos por meio de algoritmos genéticos, foram utilizados como referência para o modelo de simulação. Nesse caso, a disponibilidade do sobressalente é considerada fundamental.

Mattila *et al.* (2008) estabeleceram um modelo de simulação a eventos discretos do processo de operação e manutenção dos aviões de caça da Força Aérea Finlandesa. Foram avaliados os efeitos da variação no tempo entre missões na disponibilidade da frota. Assim, foi possível determinar a estrutura de manutenção em tempo de paz e a estrutura em tempo de guerra (quando o tempo entre missões é menor e demanda por manutenção maior). Pall (2008) avaliou a disponibilidade dos helicópteros CH 149 de busca e salvamento da Força Aérea Canadense. Através de simulação a eventos discretos avaliou-se a capacidade de operar quatro bases principais. Já Marlow e Novak (2013) utilizaram simulação a eventos discretos para dimensionar a frota naval de helicópteros de combate da Austrália. Nestes estudos os mecânicos realizam tarefas excluivas de manutenção e a ausência de sobressalentes não é considerada.

Alrabghi e Tiwari (2013) descrevem que em uma simulação, os elementos modelados variam de acordo com a pesquisa. Afirmam que se deve balancear entre a fiel observância do comportamento do sistema real e as simplificações razoáveis. Chamam a atenção para o fato que embora os sobressalentes e a equipe de manutenção tenham efeito direto no processo de manutenção, poucos pesquisadores os incluem no processo. De fato, considerar que os recursos estão sempre disponíveis é muito comum, mas pode não ser verdade, principalmente no caso de um sistema militar.

Ighravwe e Oke (2014) utilizaram um modelo não linear de programação inteira para resolver o problema da força de trabalho de manutenção com uma abordagem biobjetiva, que busca minimizar o número de mecânicos e maximizar os níveis de produção. O modelo contemplou o que os autores chamaram de fator de uso, que é a frequência de ocupação dos mecânicos. A solução foi obtida através do algoritmo de *branch-and-bound*.

Zhang e Ghanmi (2014) analisaram o planejamento da manutenção sob o aspecto da incerteza e sujeitos à canibalização. Descrevem que a canibalização é uma das ações mais rápidas utilizadas pelos mecânicos para recuperar equipamentos avariados. Devido às complexidades adicionais introduzidas por essas operações, elas foram pouco estudadas na literatura. A canibalização faz com que equipamentos avariados sejam utilizados como fonte de sobressalentes para as demais viaturas demandando manutenção. O trabalho propõe maximizar a frota sob restrições de custo.

Boukhtouta e Ghanmi (2014) analisaram a disponibilidade dos equipamentos das Forças Armadas Canadenses através de simulação a eventos discretos, avaliando o impacto de diferentes regimes de manutenção (planejada, não planejada e baseada em condições) e demonstrando os ganhos obtidos com a manutenção baseada em condições.

Alrabghi e Tiwari (2015) argumentam que a simulação a eventos discretos é a técnica

que domina a literatura no que diz respeito à simulação, sendo usada sozinha ou em conjunto com outras técnicas em cerca de 68% dos trabalhos. Afirmam que na busca pela otimização, a minimização dos custos tem sido o objetivo em 71% dos trabalhos, seguido pela maximização da disponibilidade do equipamento. Ainda segundo Alrabghi e Tiwari (2015), a maioria dos trabalhos envolvem situações teóricas estritamente acadêmicas. Os que tratam de problemas reais são relativos ao setor elétrico, indústria automotiva, indústria plástica, infraestrutura de transportes e manutenção de equipamentos ferroviários. Afirmam também que o baixo número de trabalhos tratando de equipamentos militares pode ser devido à natureza sensível desses sistemas.

Jin *et al.* (2015) afirmam que o setor de serviços tem cada vez mais feito suas contratações baseadas em desempenho, o que permite ao fornecedor maximizar o lucro atendendo à meta do sistema, enquanto o cliente reduz o custo de propriedade de ativos com a disponibilidade do sistema. No entanto, a maioria dos estudos aborda unicamente uma das partes interessadas. Os autores propõem então uma abordagem por teoria dos jogos onde ambos os interesses sejam contemplados.

Aplicações de pesquisa operacional nas Forças Armadas Brasileiras são encontradas em Collazo *et al*. (2009), que modelaram o serviço de distribuição de medicamentos do Hospital Naval Marcílio Dias e utilizaram simulação a eventos discretos para reduzir o tempo de espera para recebimento da medicação. Também Praia e Gomes (2015) utilizaram simulação a eventos discretos para dimensionar o número de profissionais de um centro de compras com o objetivo de reduzir o tempo médio de processamento dos pedidos de recompletamento de estoques realizados pelo Centro de Obtenção da Marinha. Anteriormente, Pastore *et al*. (2010) modelaram o processo de atendimento aos pedidos de uniforme de um centro de distribuição da Marinha do Brasil, propondo soluções para aumento da eficácia e eficiência.

O objetivo deste trabalho é estudar formas de aumentar a eficiência do processo de manutenção de viaturas blindadas do corpo de fuzileiros navais. Busca-se reduzir o tempo total médio de cada viatura no sistema de manutenção, assim como o número de viaturas em reparo. O estudo proposto é implementado através da técnica de simulação a eventos discretos. Propõe-se considerar o aspecto peculiar da manutenção militar, na qual nem sempre o mecânico e o sobressalente estão disponíveis quando se fazem necessários. São utilizados como indicadores de desempenho o tempo total da viatura no sistema (pois uma viatura parada representa um grupo de militares operando nas ruas sem proteção blindada), assim como o número total de viaturas no sistema (pois caso esse número seja elevado, pode não haver viaturas suficientes para atender a diversas demandas de operação simultâneas).

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a formulação do problema, estratificando o modelo conceitual, modelos computacionais, análise dos dados de entrada e verificação e validação do modelo. A Seção 3 apresenta os resultados numéricos. A Seção 4 traz as conclusões e ao final do trabalho está a bibliografia.

2. Formulação do Problema

2.1. Modelo conceitual

O Batalhão de Blindados de Fuzileiros Navais é a Organização Militar responsável por operar e manutenir as viaturas PIRANHA. Em suas instalações são realizadas manutenções preventivas e corretivas. O pelotão de manutenção dispõe de um *Box* e uma equipe de manutenção para a viatura PIRANHA. O processo de manutenção é executado de acordo com o fluxograma ilustrado na Figura 2, que define o modelo conceitual do processo.

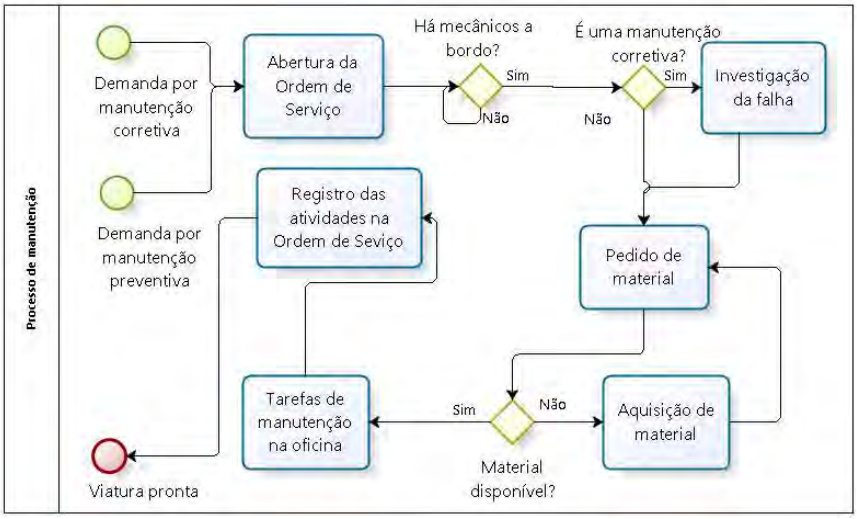

Figura 2 - Modelo conceitual do processo de manutenção

Analisando o processo de manutenção, que atualmente opera sob a disciplina FIFO (*Firs in, First out*), observamos que as viaturas demandando manutenção entram no sistema, onde inicialmente é aberta uma Ordem de Serviço (OS). A OS é o primeiro processo e também a primeira fila do sistema. Se não houver mecânicos a bordo, as viaturas esperam em uma segunda fila até que haja uma equipe disponível. As viaturas demandando manutenções corretivas seguem para o delineamento, que é um outro processo com fila própria, onde são investigadas as causas das falhas, e posteriormente para o pedido de material (processo também com fila independente). As viaturas demandando manutenção preventiva seguem direto para o pedido de material. Em ambos os casos, se os sobressalentes não estiverem disponíveis, é realizada a aquisição, processo realizado por pessoal alheio ao setor de manutenção e com fila própria. Com os sobressalentes disponíveis, as viaturas seguem para a oficina para serem manutenidas, onde encontram mais uma fila. Ao final, as viaturas enfrentam sua última atividade e consequentemente última fila, onde são registradas as atividades realizadas e a viatura deixa o sistema de manutenção.

2.2. Modelos computacionais

Os modelos computacionais foram desenvolvidos no *software* ARENA® versão 14 para cinco cenários diferentes, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1- Cenários simulados

Cenário	Características
1	Uma equipe composta por três militares realizando atividades preventivas e corretivas sob a disciplina: primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido.
2	Uma equipe composta por três militares realizando atividades preventivas e corretivas com prioridade para as corretivas.
3	Duas equipes compostas por três militares cada (uma realizando atividades corretivas e outra realizando atividades preventivas) sob a disciplina: primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido.
4	Duas equipes compostas por três militares cada, ambas realizando atividades corretivas e preventivas, com prioridade para as corretivas.
5	Uma equipe composta por quatro militares realizando atividades preventivas e corretivas, com prioridade para as corretivas.

2.3. Análise dos dados de entrada

Utilizando os Relatórios de Avarias, o Programa Anual de Manutenção e as Ordens de Serviço de três anos consecutivos, foram obtidas as curvas de demanda anual de serviços e as curvas das taxas de execução das manutenções. Para isso, foi utilizada a ferramenta *Input Analyzer* do ARENA. Sabe-se que por serem 30 viaturas a sofrerem duas manutenções preventivas por ano cada uma, a taxa entre chegadas de viaturas para manutenção preventiva é de uma viatura a cada seis dias. Através da ferramenta observa-se que a chegada de viaturas demandando manutenção corretiva segue uma distribuição exponencial com parâmetro *lambda* de 12,5 dias; a taxa de serviço de manutenção corretiva obedece a uma distribuição triangular com parâmetros 0,5; 1,5 e 2,5 dias e a taxa de serviço de manutenção preventiva segue uma distribuição uniforme com parâmetros 2,5 e 5,5 dias.

Em entrevista com o secretário da manutenção, verificou-se que não há registro do tempo gasto para abertura da Ordem de Serviço, sendo levantada a informação que se gasta em torno de 30 minutos para realizar esta tarefa. Assim, foi adotada uma distribuição exponencial com parâmetro *lambda* de 30 minutos. Em entrevista com o encarregado da seção de pessoal, verificou-se que a equipe de mecânicos participa de exercícios operativos que são realizados em média a cada três meses. Cada exercício dura em torno de dez dias. Nestes dias específicos o mecânico não realiza suas atividades a bordo. Desta forma, adotou-se uma distribuição exponencial para as ausências dos mecânicos, com tempo entre chegadas de noventa dias. A duração dessas ausências é de cerca de dez dias.

Em entrevista com o encarregado da oficina, verificou-se que o delineamento de uma viatura demandando manutenção corretiva leva em geral um dia de serviço. Face ao exposto adotou-se para o delineamento uma distribuição exponencial com parâmetro *lambda* de um dia. Em entrevistas com os mecânicos, verificou-se que o processo de separação dos sobressalentes que serão utilizados na manutenção leva cerca de duas horas. Desta forma adotou-se para o pedido de material uma distribuição exponencial com parâmetro *lambda* de duas horas. Nessa mesma entrevista verificou-se que o processo de escrituração da ordem de serviço após terminar a manutenção leva em torno de duas horas. Com base nessa informação adotou-se para a escrituração uma distribuição exponencial com parâmetro *lambda* de duas horas. Em entrevista com o encarregado do paiol de sobressalentes, verificou-se que eventualmente algum item pode não estar disponível para ser utilizado, devendo ser requisitado e retirado no Centro Tecnológico do Corpo de Fuzileiros Navais (CTecCFN). Esse processo leva em torno de dois dias. Assim adotou-se para a aquisição de material uma distribuição exponencial com parâmetro *lambda* de dois dias.

Todas as distribuições com médias obtidas por entrevistas foram consideradas exponenciais, pois em geral os valores obtidos no processo de manutenção são próximos à média, ocasionalmente ocorrendo uma variação mais significativa. Esse fenômeno é melhor representado pela distribuição exponencial. Neste momento é importante enfatizar que este trabalho não considera a eventual falta de material no CTecCFN. Isso porque o processo de aquisição dos sobressalentes junto ao fabricante suíço pode levar de seis meses a um ano, o que faz com que o estoque seja constantemente monitorado.

2.4. Verificação e Validação

A verificação do modelo computacional foi realizada através da análise gráfica do ARENA. As viaturas demandando preventivas foram representadas graficamente por formulários verdes e as demandando corretiva por formulários vermelhos. Os formulários seguiram seus fluxos através das estações de trabalho sem sobressaltos. Também foi utilizado o depurador, o qual verificou a simulação passo a passo em busca de possíveis erros.

A validação do modelo conceitual foi realizada através do Teste de Turing com o encarregado da manutenção. Foram apresentadas duas planilhas: uma com os dados de tempo total de manutenção e tempo de serviço integrantes da amostra coletada (valores reais) e outra com os dados gerados pelo modelo computacional. Foi solicitado ao encarregado que buscasse distinguir entre as duas, o que não foi possível.

3. Resultados numéricos

Para os quatro cenários foram avaliados os comportamentos diante de um aumento na demanda de atividades corretivas de 25%, 50% e 75%. A simulação foi feita para 7300 dias sendo replicada 1.000 vezes. Para cada replicação foram desprezados os dados referentes aos 30 primeiros dias, considerados como aquecimento do sistema, onde o regime estacionário ainda não foi alcançado. No entanto, antes de analisar os cenários é preciso estabelecer que existem demandas de operações que são corriqueiras e que podem eventualmente ocorrer simultaneamente. A Força de Emprego Rápido (FER) demanda 14 viaturas. A fração básica para missões de paz (missões da ONU) é composta por 5 viaturas. Nos exercícios operativos, que visam manter a prontidão operacional do Corpo de Fuzileiros Navais, são necessárias 6 viaturas. Caso todos esses eventos ocorram simultaneamente, sobram 5 viaturas das 30 que existem. Logo o número máximo de viaturas no sistema (em manutenção) não pode ser superior a 5. Diante dessa informação, os resultados obtidos estão descritos nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6.

Tabela 2 - Resultados para o Cenário 1

Média dos Parâmetros	Demanda por manutenção corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas no sistema (dias)	13,52	16,57	22,41	38,11
Tempo total das preventivas no sistema (dias)	12,51	15,46	21,25	36,84
Tempo total das corretivas em efetiva atividade (dias)	2,92	2,92	2,92	2,92
Tempo total das preventivas em efetiva atividade (dias)	4,42	4,42	4,42	4,42
Taxa de ocupação dos mecânicos com manutenção	78,66%	81,66%	84,55%	87,34%
Taxa de ocupação dos mecânicos com atividades externas	11,15%	11,11%	11,09%	11,17%
Taxa total de ocupação	89,81%	92,77%	95,64%	98,51%
Número total de viaturas no sistema	3,71	4,79	6,83	12,35

Tabela 3 - Resultados para o Cenário 2

Média dos Parâmetros	Demanda por manutenção corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas no sistema (dias)	6,42	6,55	6,68	6,86
Tempo total das preventivas no sistema (dias)	13,87	17,88	24,98	45,55
Tempo total das corretivas em efetiva atividade (dias)	2,92	2,92	2,92	2,92
Tempo total das preventivas em efetiva atividade (dias)	4,42	4,42	4,42	4,42
Taxa de ocupação dos mecânicos com manutenção	77,87%	81,66%	84,54%	87,35%
Taxa de ocupação dos mecânicos com atividades externas	11,99%	11,80%	11,85%	11,87%
Taxa total de ocupação	89,86%	93,46%	96,39%	99,22%
Número total de viaturas no sistema	3,34	4,09	5,53	9,30

Tabela 4 - Resultados para o Cenário 3

Média dos Parâmetros	Demanda por manutenção corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas no sistema (dias)	4,40	4,48	4,56	4,65
Tempo total das preventivas no sistema (dias)	8,17	8,26	8,25	8,23
Tempo total das corretivas em efetiva atividade (dias)	2,91	2,92	2,92	2,92
Tempo total das preventivas em efetiva atividade (dias)	4,42	4,42	4,42	4,42
Taxa de ocupação da equipe corretiva com manutenção	12,00%	15,00%	17,99%	21,01%
Taxa de ocupação da equipe preventiva com manutenção	66,70%	66,68%	66,72%	66,69%
Taxa de ocupação dos mecânicos com atividades externas	11,06%	11,13%	11,15%	11,11%
Taxa total de ocupação da equipe corretiva	23,06%	26,13%	29,14%	31,12%
Taxa total de ocupação da equipe preventiva	77,76%	77,81%	77,87%	77,80%
Número total de viaturas no sistema	2,23	2,34	2,42	2,53

Tabela 5 - Resultados para o Cenário 4

Média dos Parâmetros	Demanda por manutenção corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas no sistema (dias)	5,41	5,46	5,52	5,61
Tempo total das preventivas no sistema (dias)	6,64	6,75	6,88	7,05
Tempo total das corretivas em efetiva atividade (dias)	2,92	2,92	2,92	2,92
Tempo total das preventivas em efetiva atividade (dias)	4,42	4,42	4,42	4,42
Taxa de ocupação da equipe 1 com manutenção	39,36%	40,85%	42,41%	43,87%
Taxa de ocupação da equipe 2 com manutenção	39,35%	40,86%	42,30%	43,83%
Taxa de ocupação dos mecânicos com atividades externas	11,15%	11,14%	11,07%	11,21%
Taxa total de ocupação da equipe 1	50,51%	51,99%	53,48%	55,08%
Taxa total de ocupação da equipe 2	50,50%	52,00%	53,37%	55,04%
Número total de viaturas no sistema	2,02	2,17	2,31	2,48

Tabela 6 - Resultados para o cenário 5

Média dos Parâmetros	Demanda por manutenção corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas no sistema (dias)	5,01	5,09	5,17	5,27
Tempo total das preventivas no sistema (dias)	6,56	6,93	7,39	7,88
Tempo total das corretivas em efetiva atividade (dias)	2,54	2,54	2,55	2,54
Tempo total das preventivas em efetiva atividade (dias)	3,41	3,42	3,42	3,42
Taxa de ocupação dos mecânicos com manutenção	59,02%	61,28%	63,54%	65,80%
Taxa de ocupação dos mecânicos com atividades externas	11,12%	11,11%	11,14%	11,13%
Taxa total de ocupação	70,14%	72,39%	74,58%	76,93%
Total de viaturas no sistema	2,02	2,19	2,39	2,58

A variação das médias dos tempos totais, números totais de viaturas no sistema e taxas de ocupação das equipes são ilustrados nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

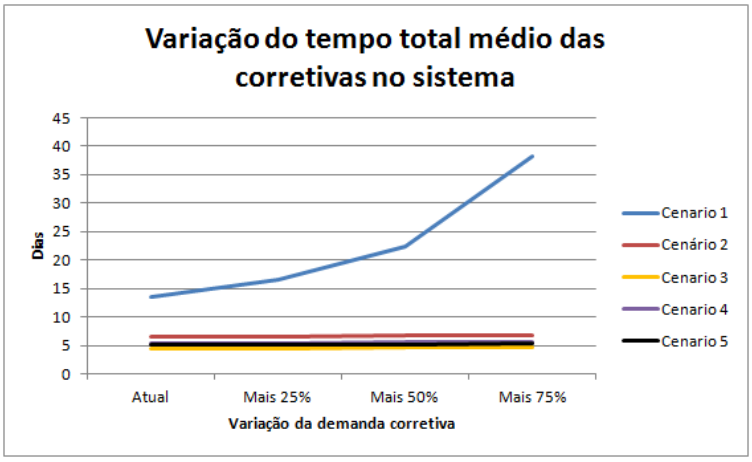

Figura 3 - Variação do tempo total das corretivas

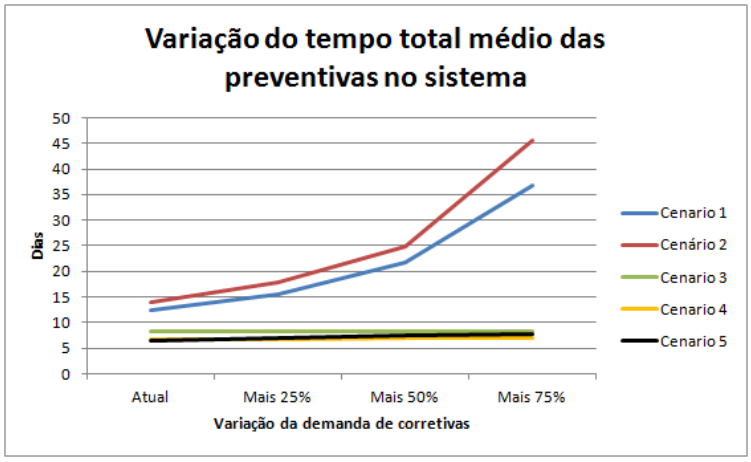

Figura 4 - Variação do tempo total das preventivas

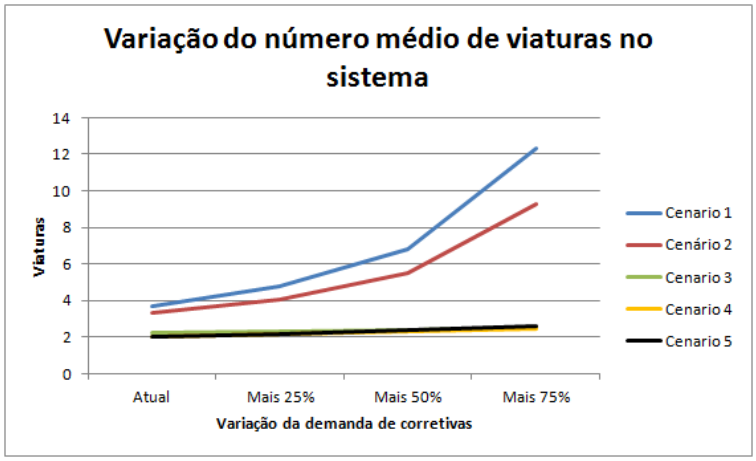

Figura 5 - Variação do número total de viaturas no sistema

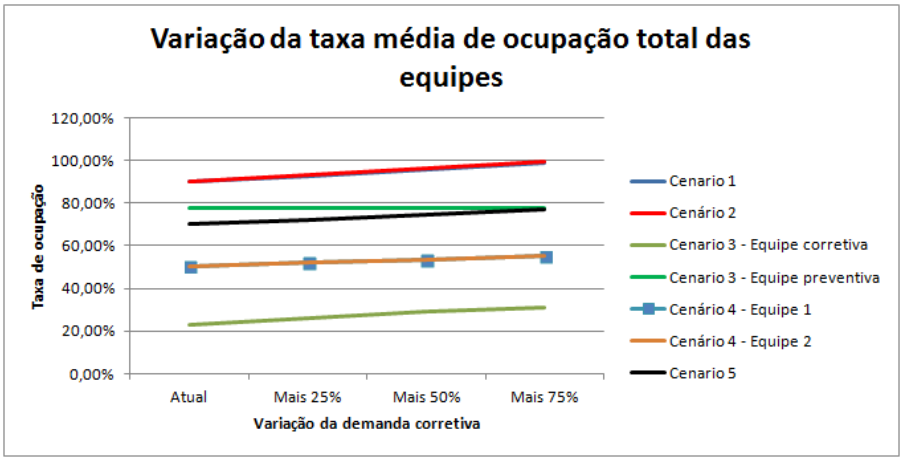

Figura 6 - Variação da taxa total de ocupação das equipes

Para o Cenário 1, observa-se que os tempos totais no sistema (corretivas e preventivas) já são elevados para a situação atual, requerendo desde já ações para melhoria do processo. Diante de uma variação de demanda, esses tempos se tornam inviáveis. Considerando que devido aos compromissos anuais só é possível haver cinco viaturas dentro do sistema, o Cenário 1 é adequado para a taxa atual e para uma variação de 25% na demanda de corretivas, mas não resiste às demais variações de demanda. No que diz respeito à taxa de ocupação dos mecânicos, o Cenário 1 está muito próximo a 100% para todas as demandas, não havendo margem para imprevistos.

Para o Cenário 2, observa-se que o tempo total no sistema para corretivas é adequado e não sofre variações com o aumento da demanda. Isso porque nesse cenário as corretivas são priorizadas. No entanto o tempo total no sistema para preventivas é elevado já para a taxa atual e torna-se inviável para qualquer variação de demanda. Considerando que devido aos compromissos anuais só é possível haver cinco viaturas dentro do sistema, o Cenário 2 é adequado para a taxa atual e para uma variação de 25% na demanda de corretivas, mas não resiste às demais variações de demanda. No que diz respeito à taxa de ocupação dos mecânicos o Cenário 2 está muito próximo a 100% para todas as demandas, não havendo margem para imprevistos.

Para o Cenário 3, observa-se que os tempos totais no sistema (corretivas e preventivas) são reduzidos na situação atual, não sofrendo variações significativas diante de um aumento de demanda. No que diz respeito ao número de viaturas no sistema, o Cenário 3 apresenta vantagem significativa em relação aos Cenários 1 e 2, não sofrendo alterações com a variação de demanda. No que diz respeito à taxa de ocupação dos mecânicos, a equipe preventiva apresenta boa taxa de

ocupação e possui margem para imprevistos, no entanto a equipe corretiva apresenta taxa de ocupação muito baixa, sendo visivelmente subutilizada.

Para o Cenário 4, observa-se que os tempos totais no sistema (corretivas e preventivas) são reduzidos na situação atual, não sofrendo variações significativas diante de um aumento de demanda. No que diz respeito ao número de viaturas no sistema, o Cenário 4 não sofre alterações com a variação de demanda. No que diz respeito à taxa de ocupação dos mecânicos, as equipes apresentam melhor distribuição na taxa de ocupação em relação ao Cenário 3, havendo ainda assim margem para imprevistos e maior carga de atividades paralelas à manutenção, nas quais os mecânicos podem ser escalados. No entanto, para o momento atual e para os primeiros aumentos de demanda, a taxa de ocupação das equipes ainda é baixa, sugerindo um gerenciamento inadequado da mão-de-obra.

Para o Cenário 5 observam-se tempos adequados para as manutenções corretivas e preventivas, diante de todas as demandas analisadas. O número médio de viaturas no sistema também é mantido baixo. Apesar deste bom desempenho, a taxa de ocupação das equipes é mantida em padrões adequados, o que indica que os bons resultados não foram obtidos à custa de superdimensionamento da equipe. O Cenário 5 é, portanto, o mais indicado.

4. Conclusões

Através da simulação a eventos discretos é possível comparar o desempenho de diferentes cenários diante da situação atual. Mais que isso, é possível comparar os cenários diante de mudanças dos parâmetros que são esperadas em um futuro próximo. Essa flexibilidade é fundamental no apoio à decisão. O tomador de decisão precisa analisar a situação atual e suas variações ao longo do tempo. Um cenário simulado pode estar adequado à realidade atual, mas pode não resistir a uma pequena variação dos parâmetros (que pode estar muito próxima de ocorrer). No processo analisado, o Cenário 5 mostra-se como a melhor configuração para o momento atual e para as variações de demandas futuras.

A técnica de simulação pode ser utilizada não só para dimensionar equipes de manutenção de qualquer equipamento como também outras estruturas para prestação de serviços e fabricação de componentes dentro da Forças Armadas. Há diversas possibilidades de aplicações no setor hospitalar, nos restaurantes das Organizações Militares, nos postos de distribuição de uniformes e também nas análises de tempos de respostas em circuitos de ambulâncias. No entanto, não é a única técnica disponível. Existem aplicações que utilizam técnicas como otimização, análise envoltória de dados e análise multiatributo. O principal ponto não é a técnica utilizada, mas sim o desenvolvimento de uma nova cultura organizacional e o estabelecimento de um procedimento específico menos sensível a análises subjetivas.

Referências

Alrabghi, A. e Tiwari, A. (2013). A review of simulation-based optimisation in maintenance operations. In:*P roceedings of the 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, p. 353-357, Cambridge.

Alrabghi, A. e Tiwari, A. (2015). State of the art in simulation-based optimisation for maintenance systems. *Computers & Industrial Engineering*, v. 82, p. 167-182.

Boukhtouta, A. e Ghanmi, A. (2014). A Simulation study of operational availability of Canadian armed forces equipment under different Maintenance regimes. In: Proceedings of the International Conference on Analytics Driven Solutions, p. 183-188, Cambridge.

Collazo, R. A.; De Oliveira, M. J. F., Pessôa, L. A. M. e Garcia, L. C. (2009). Simulação orientada ao cliente: distribuição de medicamentos do Hospital Naval Marcílio Dias. In: *Anais do XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, pp. 1490-1502, Porto Seguro.

Ighravwe, D. E. e Oke, S. A. (2014). A non-zero integer non-linear programming model for maintenance workforce sizing. *International Journal of Production Economics*, v. 150, p. 204-214.

Jin, T., Tian, Z. e Xie, M. (2015). A game-theoretical approach for optimizing maintenance, spares and service capacity in performance contracting. *International Journal of Production Economics*, v. 161, p. 31-43.

Kruger, P. S. (2003). The art of simulation modelling. *South African Journal of Industrial Engineering*, v. 14, n. 1, p. 39-49.

Marlow, D. O. e Novak, A. (2013). Using discrete-event simulation to predict the size of a fleet of naval combat helicopters. In: *Proceedings of the 20th International Congress on Modelling and Simulation*, p. 1117-1123, Adelaide.

Mattila, V., Virtanen, K. e Raivio, T. (2008). Improving maintenance decision making in the Finnish Air Force through simulation. *Interfaces*, v. 38, n. 3, p. 187-201.

Pall, R. (2008). On the availability of the CH149 cormorant fleet in an ideal sparring situation. Technical Report DRDC CORA TM 2008-11. Defence R&D Canada – CORA.

Pastore, P., Guimarães A. M. C. e Diallo, M. (2010). Simulação computacional aplicada à logística de distribuição de uniformes da Marinha do Brasil. In: *Anais do XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, São Carlos.

Praia, C. R. e Gomes, C. F. S. (2015). Modelo de simulação para o dimensionamento de profissionais de um centro de compras. In: Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, pp. 3200-3211, Porto de Galinhas.

Rezg, N., Xie, X. e Mati, Y. (2004). Joint optimization of preventive maintenance and inventory control in a production line using simulation. *International Journal of Production Research*, v. 42, n. 10, p. 2029-2046.

Sarker, R. e Haque, A. (2000). Optimization of maintenance and spare provisioning policy using simulation. *Applied Mathematical Modelling*, v. 24, p. 751-760.

Sun, S. (2004). Assessing joint maintenance shops in the Taiwanese Army using data envelopment analysis. *Journal of Operations Management*, v. 22, p. 233-245.

Yong, Z., Hongwei, Y. e Shengfeng, W. (2012). Modeling and simulation research on the maintenance system of armored equipment. *Advanced Materials Research*, v. 383-390, p. 7265-7269.

Zhang, R. e Ghanmi, A. (2014). Detailed maintenance planning for military systems with random lead times and cannibalization. Technical Report DRDC-RDDC-20140R15, Defense R&D Canada – CORA.