

# MODELAGEM E DIMENSIONAMENTO DE ESFORÇO AÉREO DA INSTRUÇÃO BÁSICA DE CADETES

## MODELING FLIGHT EFFORT IN AIR OPERATIONS TRAINING PROGRAMS

A 1º Ten Eng Talita Alessandra da Silva concluiu o Curso Preparatório de Oficiais da Aeronáutica no CPORAER-SJ em 2016, possui graduação em Engenharia Mecânica-Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2016) e mestrado na área de Turbinas a Gás pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2018). Atualmente é Oficial Adjunto à Divisão de Pesquisa e Desenvolvimento do IAOp.

Contato: talitatas@fab.mil.br



O Ten Cel Av Sergio Rebouças possui graduação em Ciências Aeronáuticas pela Academia da Força Aérea (2000). É Líder de Esquadrilha de Caça, Instrutor de Voo, Chefe Controlador Aeroembarcado e Oficial de Segurança de Voo. Possui especialização em Gestão Pública pela Universidade da Força Aérea (2012), e mestrado em Análise Operacional pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2016). Atualmente é Oficial Aluno de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Aplicações Operacionais.

Contato: reboucassr@fab.mil.br



### RESUMO

O dimensionamento de esforço aéreo demandado para o treinamento de pilotos de aeronaves é um problema vivenciado anualmente pelas empresas desse setor, tanto na área civil quanto militar. A mobilização de recursos humanos e materiais necessários para suportar diretamente a atividade aérea constitui o principal fator de impacto na gestão financeira. Os contratos de suporte logístico e operacional são firmados com base nesse planejamento e o erro implica consequências negativas, financeiras e administrativas, significativas. O planejamento, quando realizado de forma empírica, dificulta a transparência e entendimento pleno dos fatores considerados durante a análise, além de consumir elevado valor de homem/hora. Este artigo descreve um método para o planejamento e dimensionamento de esforço aéreo necessário para o treinamento de pilotos, na fase de formação básica. O método proposto consiste em simulação através de modelagem matemática de previsão, envolvendo as ordens de instrução e as restrições operacionais existentes, no intuito de obter previsões precisas no dimensionamento de esforço aéreo. O modelo foi validado através do confronto do resultado com o esforço aéreo real, consumido no período de um ano.

**Palavras-Chave:** PO em aviação, simulação, modelagem de incertezas, previsão, sistemas de apoio à decisão.

### ABSTRACT

The estimation of flight effort required for training aircraft pilots is a challenge experienced annually by companies in this sector, both in the civil and military areas. The mobilization of material and human resources necessary to support air operations is the main factor of impact in financial management. The logistic and operational support contracts are signed based on this planning process and inaccuracy would imply significant negative financial and administrative consequences. The planning process, when performed empirically, hinders transparency and full understanding of the factors considered during the analysis, besides consuming an elevated value of hour/man. This article describes a method for planning and sizing of flight effort required for pilot training, in the basic training phase. The proposed method consists of simulation through predictive mathematical modeling, involving the individual instructions and the existing operational constraints, with the objective of obtaining accurate estimations in the sizing of flight effort. The proposed model was validated by the comparison between the result and the real flight effort, consumed in a one-year period.

**Keywords:** OR in aviation, simulation, uncertainty modeling, forecasting, decision support systems.

## I – INTRODUÇÃO

A complexidade e o elevado custo de qualquer atividade que envolva a alocação de meios aéreos (aeronaves tripuladas) exigem cada vez mais a antecipação e o dimensionamento preciso da demanda de consumo de horas de voo (esforço aéreo) em período futuro determinando (ano fiscal, por exemplo), com vistas à redução desses custos [1]. O excesso de erro nesse dimensionamento, tanto para mais quanto para menos, geram impactos operacionais e financeiros significativos para estas empresas.

Os métodos empíricos atualmente utilizados para o planejamento de demanda de esforço aéreo consomem grande volume de atividade administrativa e de tempo, quantificadas em força de trabalho, através do indicador homem/hora (H/H).

A proposta deste artigo é apresentar um método de previsão de dimensionamento de esforço aéreo para programas de formação ou treinamento de pilotos, por meio de modelagem matemática preditiva, com vistas a aumentar a precisão da previsão de demanda de esforço aéreo, para o período de um ano, e reduzir a força de trabalho consumida nesse processo decisório, tanto em nível estratégico quanto operacional.

### A. Contextualização do Problema Abordado na FAB

Na Força Aérea Brasileira (FAB), quando se trata de planejamento em nível estratégico ou operacional, geralmente ocorre o envolvimento de dois ou mais setores de uma ou mais organizações com a atuação direta de vários militares (geralmente de Oficiais). O período de envolvimento pode variar de uma a duas semanas de duração, envolvendo atividades como o levantamento de dados, tabulação, análises e cálculos.

Estima-se, portanto, um consumo de força de trabalho, de militares altamente especializados, na ordem de 107 a 211 H/H, dependendo do nível de planejamento, sem considerar o envolvimento dos demais elos e organizações subordinadas, que podem incrementar este consumo em progressão geométrica.

A ausência de sistemas computacionais e algoritmos de apoio em grande parte deste processo eleva significativamente o custo em termos de força de trabalho necessária para esta análise e pode gerar impacto na precisão do planejamento.

### B. Contribuição

Apesar da grande variedade de aplicações da modelagem matemática preditiva para simulação e previsão de demanda em operações aéreas, não foi encontrada na literatura nenhuma produção cien-

tífica versando sobre o problema em tela.

Além disso, quase totalidade dessas aplicações estão associadas às operações das grandes empresas comerciais da aviação civil, adaptadas às suas especificidades, não sendo aplicáveis, portanto, às operações aéreas relativas à formação e treinamento de pilotos.

### C. Estrutura do Artigo

A Seção II apresenta uma análise dos avanços científicos relacionados ao problema em tela. Na Seção III é descrita a metodologia a ser aplicada, bem como o material utilizado para o estudo. Os resultados são apresentados e discutidos na Seção IV e as conclusões referentes ao presente trabalho estão comentadas na Seção V, juntamente com propostas de trabalhos futuros.

## II – REVISÃO DE LITERATURA

### A. História e Aplicações da Pesquisa Operacional

Após a revolução industrial, a considerável evolução das organizações, civis e militares, públicas e privadas, e o conseqüente aumento da complexidade e especialização das mesmas gerou um problema de gerenciamento transcendental à capacidade humana. Os problemas enfrentados envolviam considerar uma infinidade de variáveis, fatores e recursos que se tornaram disponíveis. Estes problemas e a necessidade de encontrar uma maneira mais eficiente de resolvê-los propiciaram um ambiente favorável ao surgimento da Pesquisa Operacional, mais conhecida como PO [2].

As raízes da PO remontam à Segunda Guerra Mundial, quando grande massa de pesquisadores e cientistas se concentraram em aplicar teorias científicas no gerenciamento de operações militares, ou seja, em conduzir pesquisas em operações, dando origem ao termo “Pesquisa Operacional” [3]. Dentre as diversas aplicações científicas empregadas em operações militares destaca-se a Programação Linear, que possibilitou a abertura de uma infinidade de linhas de pesquisa e desenvolvimento, solucionando de forma exata diversos problemas clássicos. Alguns desses problemas são os de maximização e minimização, caixeiro viajante, mistura, agendamento ou escalas (“*scheduling*”), transporte, investimento de capital, distribuição, entre outros.

Programação Linear ou PL é uma ferramenta matemática utilizada na otimização, que pode ser minimização ou maximização, de uma função linear, satisfazendo um conjunto de condições de contorno representadas por equações ou inequações lineares. A ferramenta de programação linear foi concebida por George B. Dantzig, em 1947, quando o mesmo

trabalhava como conselheiro matemático para a Força Aérea Americana. Dantzig implementou esta ferramenta durante o desenvolvimento de métodos de planejamento para o emprego, treinamento e programas logísticos de suporte ao combate [4].

A aplicação da PL na indústria aeronáutica e nas operações aéreas das grandes empresas de aviação civil do mundo tem se intensificado de forma exponencial desde a década de 50. Esta aplicação impactou significativamente o planejamento e gerenciamento das operações aéreas [5]. Em virtude da grande escala dos problemas das empresas aéreas, em termos de complexidade computacional, envolvendo os problemas clássicos já citados, estes são tratados de forma separada e sequencial, divididos em subproblemas. Estes subproblemas são abordados na literatura como: a) problema de dimensionamento de frota; b) problema de alocação de aeronaves; c) problemas de roteirização de manutenção; e d) problemas de alocação de tripulantes [6].

## B. Contextualização do Problema Abordado na Pesquisa Operacional

Na pesquisa operacional, a técnica de simulação consiste em criar modelos representativos de um processo ou sistema do mundo real, estudando o seu comportamento. O comportamento do sistema é analisado por meio de relações matemáticas e simbólicas entre as variáveis de interesse do sistema. Uma vez validado, o modelo permite fazer suposições sobre o funcionamento do sistema no mundo real. A simulação também pode ser utilizada durante a fase de projeto, ou seja, antes de o sistema ser construído. Trata-se de uma ferramenta que nos permite analisar o efeito de mudanças em sistemas já existentes, e também prever a sua performance em diferentes circunstâncias [7].

O método de previsão de dimensionamento de esforço aéreo consiste em um modelo matemático representativo do programa de formação ou treinamento de pilotos. A previsão do número de cadetes formados em um dado ano é baseada em valores médios de anos anteriores para cada ordem de instrução realizada. As estatísticas consideradas incluem porcentagem de cadetes aprovados e porcentagem de acréscimo nas horas de voo para cada ordem de instrução.

## III - MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Materiais

Optou-se pelo uso de dados reais, mas não atuais, de modo a garantir, ao mesmo tempo, a confiabilidade dos resultados e a segurança das informações apresentadas.

Portanto, para efeito de validação do trabalho

e estudo de caso, foram utilizados os dados relativos à instrução básica dos cadetes da Academia da Força Aérea Brasileira, ministrada pelo 2º Esquadrão de Instrução Aérea, no período de 2007 a 2009.

Utilizaram-se as Ordens de Instrução (OI) do programa de formação para a modelagem matemática e os dados históricos de voos para elaboração do índice de correção estocástica. Cada OI representa uma missão a ser realizada.

Das OI foram extraídas as informações de código da missão e tempo de voo previsto. O programa totaliza 37:30h de voo por cadete e 46:30h de esforço aéreo, conforme detalhado na Tabela 1.

Esta diferença existe em virtude da necessidade do uso de duas aeronaves na fase de formatura (FR), que trata do treinamento de voo em formação com duas aeronaves, ou seja, uma hora de instrução para um cadete utiliza duas aeronaves voando por uma hora.

Tabela 1 - Informações utilizadas das Ordens de Instrução.

CÓDIGO DA OI	ESFORÇO AÉREO PREVISTO	CÓDIGO DA OI	ESFORÇO AÉREO PREVISTO
PS01	1:00	MAC04	1:00
PS02	1:00	MAC05	1:00
PS03	1:00	MAC06	1:00
PS04	1:00	MACX1	1:00
PS05	1:15	MAC08	1:00
PS06	1:15	FR201	2:00
PS07	1:00	FR202	2:00
PS08	1:15	FR203	2:00
PS09	1:00	FR204	2:00
PS10	1:15	FR205	2:00
PS11	1:00	FR206	2:00
PS12	1:15	FR207	2:00
PSX1	1:15	FR2X1	2:00
PS14	1:00	FR209	2:00
MAC01	1:00	NV01	1:00
MAC02	1:00	NV02	2:00
MAC03	1:00	NV03	2:00

Dos dados históricos foram extraídas as informações da quantidade de cadetes que iniciaram cada missão, de forma a possibilitar a análise da taxa de atrito (independente do motivo) e o total de horas realmente consumidas por missão, de forma a possibilitar a análise do fator de correção no tempo de voo previsto na OI, por missão para cada cadete. Os dados de quantidade de cadetes que iniciaram cada missão podem ser observados no gráfico da Fig. 1.

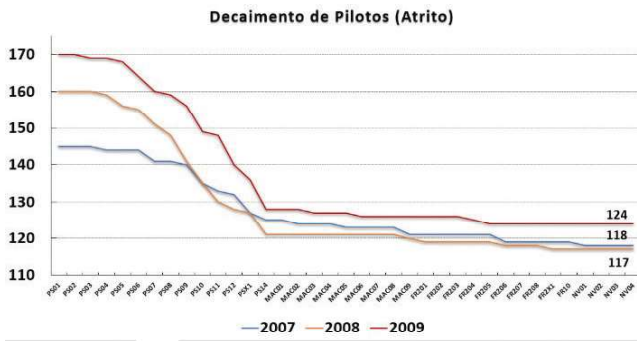


Figura 1 - Quantidade de cadetes que concluíram cada missão.

Os dados de esforço aéreo, ou seja, o que realmente foi consumido, em média, por cadete, para cada missão pode ser observado no gráfico da Fig. 2.

A linha amarela representa o esforço aéreo previsto em cada OI e as demais representam a média do esforço aéreo consumido, levando-se em consideração todas as abortivas e missões extras (por OI), associadas à quantidade total de cadetes que iniciaram determinada missão.

O valor de 0:00h consumida em 2007, para a FR08, ocorreu em virtude de a missão ter sido excluída do programa, naquele ano.

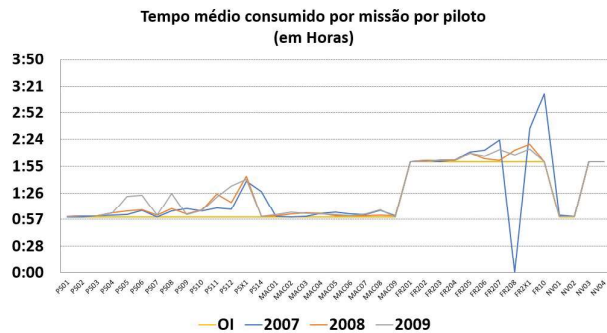


Figura 2 - Média de esforço aéreo consumido por cadete por missão.

## B. Métodos

Conforme preconizado no processo de pesquisa operacional, inicialmente foi realizada a observação do programa de treinamento e de sua execução, ficando transparente a existência de características determinísticas ou exatas e probabilísticas ou estocásticas, definindo as duas abordagens a serem empregadas.

Na primeira etapa do método implementado, a abordagem determinística, foram identificadas as variáveis associadas às características do programa de treinamento isentas de incertezas, que impactam diretamente no esforço aéreo. Estas variáveis dizem respeito ao tempo de voo previsto para cada missão e a quantidade de cadetes que iniciam o programa. Cada OI consome um tempo previsto e fixo de esforço aéreo, podendo variar de uma missão para outra.

Para a quantidade de cadetes, parte-se da premissa inicial que o programa é montado para que todos os cadetes possam concluí-lo, ou seja, todos os cadetes que iniciam o programa realizarão todas as missões previstas e concluirão o curso.

Neste caso, a demanda de esforço aéreo seria a somatória simples da variável  $x^{-k}$ , que se refere ao tempo de voo  $x$  previsto para a OI de índice  $k$ , multiplicado pela variável  $a_k$ , que se refere à quantidade de cadetes  $a$  que deverão realizar a OI de índice  $k$ , onde  $a_k = 0$  representa o número de vagas abertas no edital do Curso, ou seja, o número inicial de cadetes. Portanto, o modelo matemático que representaria o esforço aéreo total  $X_T$  a ser consumido para a execução do programa seria dado por:

$$X_T = \sum_{i=1}^k a_k x_k \quad (1)$$

No entanto, observou-se que a taxa de redução do número de cadetes no decorrer do programa é bastante significativa, o que é confirmado pela análise do gráfico de decaimento de pilotos ao longo do programa, na Fig. 1. Além disso, a quantidade de repetição de missões, seja por interrupção da instrução por condições meteorológicas inadequadas, por falhas de componentes ou sistemas das aeronaves ou por deficiência da própria instrução, é imprevisível, o que gera uma variação aleatória no esforço aéreo realmente utilizado por piloto em cada missão. Esta variação, já apresentada na Fig. 2, justifica a inclusão de uma abordagem probabilística ou estocástica, a segunda etapa do método.

Portanto, para o tratamento do decaimento de pilotos, estabeleceu-se o fator  $P(a_{k^*})$  referente ao índice de atrito que prevê a porcentagem dos  $a_{k-1}$  cadetes que passarão para a missão seguinte, de índice  $k$ . Este fator é dado pelo valor médio de períodos passados, através de:

$$P(a_{k^*}) = \frac{a_{k^*}}{a_{(k-1)^*}} \quad (2)$$

De forma que a quantidade prevista corrigida de cadetes  $a$  que deverão iniciar a missão  $k$  é dada por:

$$a_k = a_{(k-1)} \frac{a_{k^*}}{a_{(k-1)^*}} \quad (3)$$

Quando  $P(a_{k^*})$  for desconhecido, consideramos  $P(a_{k^*}) = 1$ , ou seja, não há decaimento. Estabeleceu-se, ainda, a variável  $x_{kp}$ , que se refere à quantidade de esforço aéreo  $x$  previsto para a missão de índice  $k$  e a variável  $X_{kt}$  que se refere à quantidade de esforço aéreo real total consumido para  $k$  éxima missão, incluindo horas extras e de missões abortadas e deficientes. O fator  $P_{xk^*}$  é um índice de correção do esforço aéreo e representa a

porcentagem de acréscimo de hora na k ésima missão, dado por:

$$P(x_{k^*}) = \frac{X_{kt^*} - X_{kp^*}}{a_{k^*}} \quad (4)$$

De forma que o esforço aéreo total  $x_k$  previsto e corrigido pelo modelo para cada missão  $k$  é dado por:

$$x_k = x_{kp} + P(x_{k^*}) \quad (5)$$

Na terceira etapa, foi feita a modelagem matemática, integrando a abordagem determinística e probabilística. O modelo probabilístico foi inserido como fator de correção do modelo determinístico, através da inserção de (3) e (5) em (1) gerando o modelo final, dado por:

$$X_T = \sum_{i=1}^k \left( a_{k-1} \frac{a_{k^*}}{a_{(k-1)^*}} \right) \left( x_{kp} + \frac{X_{kt^*} - X_{kp^*}}{a_{k^*}} \right) \quad (6)$$

## IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### A. Resultados

O modelo é alimentado automaticamente pelo sistema de controle de esforço aéreo já existente, ou seja, todo o processo de levantamento de dados, tabulação, análises e cálculos é transparente ao tomador de decisão e são realizados de forma automática pelo algoritmo.

O tempo de processamento do algoritmo foi inferior a 1 segundo, a partir do momento da inserção do único dado de entrada necessário e demandado pelo modelo, ou seja, da quantidade de cadetes que iniciariam o curso.

O processo de planejamento de previsão de esforço aéreo, com o uso do modelo proposto, consumiu 0,1 H/H (um militar trabalhando por 6 minutos) de força de trabalho. Este período refere-se ao tempo de inicialização da máquina, do *software*, da inserção dos dados de entrada e apresentação dos resultados e gráficos.

O modelo matemático proposto, detalhado na Seção 3.B, apresentou como resultado a previsão de demanda de 7.332:17h de esforço aéreo, para a formação dos 170 cadetes que iniciariam o curso em 2009. Como informação secundária, previu que dos 170 cadetes, 128 concluiriam o programa de formação.

O erro de previsão, em relação ao que consumo real em 2009, foi de apenas 119:47h a mais, ante às 7.212:30 consumidas, e de 4 cadetes a mais, ante aos 124 que realmente concluíram o programa. Os resultados podem ser observados no gráfico da Fig. 3.

Estes números representam um erro percentual de 1,66% e 3,23% em termos de esforço aéreo e quantidade de cadetes ao final do curso, respectivamente.

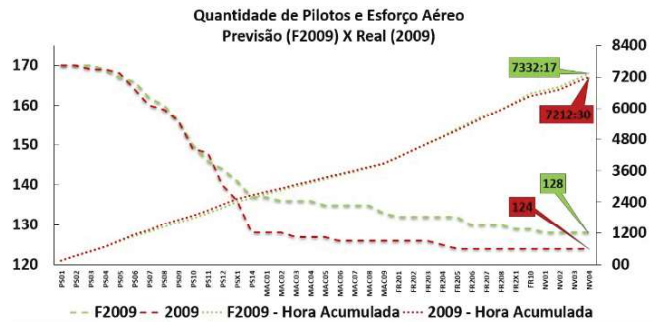


Figura 3 - Comparação entre a previsão e o evento real considerado.

No gráfico da Fig. 4 é possível comparar o resultado da previsão com o consumo real de esforço aéreo em nível menor de granularidade, ou seja, o esforço aéreo total para cada missão ou OI.

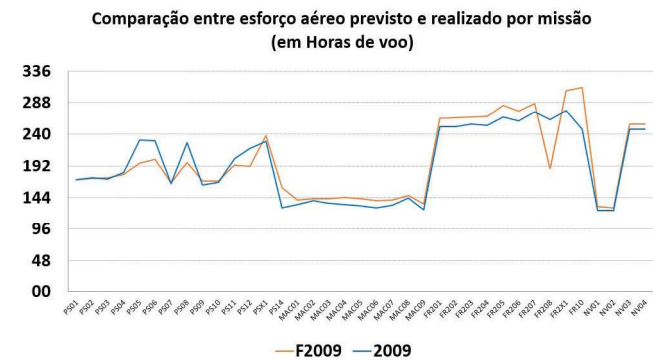


Figura 4 - Comparação detalhada entre esforço aéreo previsto e real.

### B. Discussão

Do resultado obtido, observa-se que o erro é consideravelmente inferior ao planejamento empírico tradicional, bem como o gasto de H/H na execução da atividade de planejamento.

O modelo apresentado foi fundamentado e devidamente validado, dada a metodologia utilizada e a precisão do resultado, em comparação com o esforço real. É recomendável, no entanto, a replicação do modelo para outros períodos, de maneira a confirmar e homologar a eficiência da previsão, garantindo maior confiabilidade ao modelo e segurança ao tomador de decisão.

A experiência dos recursos humanos envolvidos na atividade aérea de instrução é insubstituível no processo decisório. No entanto, o modelo proposto deve ser utilizado como suporte e material de análise e discussões, de forma a fundamentar cientificamente a decisão tomada.

O maior consumo de força de trabalho no processo de planejamento atual está justamente nas etapas abordados pelo método proposto, ou seja, le-

vantamento dos dados, tabulação, cálculos e análises quantitativas. Portanto, com a redução significativa de H/H nessas etapas, pode-se alocar o H/H excedente para as análises qualitativas (doutrinárias, políticas ou estratégicas) do planejamento.

Cita-se como exemplo, neste contexto, a análise do impacto da exclusão ou inclusão de missões do programa de instrução. Apesar de estar fora do escopo deste trabalho e sem entrar no mérito do fator motivador, a exclusão da FR08 do programa, em 2007, foi identificada como ponto de necessidade de análise qualitativa mais profunda por parte dos especialistas em instrução. Aparentemente, tal alteração não implicou em impacto significativo no esforço aéreo total do programa, pois houve o incremento substancial do esforço aéreo das duas missões subsequentes.

Análises qualitativas relativas ao dimensionamento do quadro de tripulantes, distribuição interna de esforço aéreo e de tripulantes entre esquadrões, capacitação, etc, são exemplos de outras análises que podem ser melhor fundamentadas com o uso do modelo proposto.

## V - CONCLUSÕES

A complexidade e o elevado custo da atividade aérea exigem cada vez mais a antecipação e correto planejamento e dimensionamento de esforço aéreo. O excesso de erro nesse planejamento, tanto para mais quanto para menos, geram impactos operacionais e financeiros significativos.

O planejamento, quando realizado de forma empírica, dificulta a transparência e entendimento pleno dos fatores considerados durante a análise, além de consumir elevado valor de H/H.

Foi proposto um modelo matemático representativo do programa de formação ou treinamento de pilotos para fornecer embasamento científico, agilidade e segurança ao tomador de decisão, dentro do contexto de planejamento de demanda de esforço aéreo para o programa de instrução aérea básica de cadetes da Academia da Força Aérea.

O modelo foi validado e apresentou erro de 1,66% (119:47h de 7.212:30h) na previsão de esforço aéreo para formação de 170 cadetes no ano de 2009, quando comparado ao consumo real. O tempo de processamento foi inferior a 1 segundo, consumindo apenas 0,1 homem/hora para a atividade de planejamento de demanda de esforço aéreo para o período de um ano.

Apesar de estar fora do foco inicial do trabalho, apresentou-se como resultado secundário a previsão da quantidade de concludentes com erro de 3,23% (4 de 124 cadetes).

O trabalho apresentado foi restrito ao programa de formação de cadetes. Portanto, para trabalhos futuros, pode-se expandir o modelo para in-

cluir as demais atividades do esquadrão, como formação de instrutores de voo, manutenção operacional, missões administrativas e etc.

Pode-se buscar, ainda, a adaptação do modelo aos demais esquadrões operacionais da FAB, que, apesar de não haver a complexidade probabilística referente ao atrito de pilotos, possui uma maior complexidade na quantidade de programas de treinamento e seus relacionamentos.

## REFERÊNCIAS

- [1] D. Schulte, “**Estimating Maintenance Reserves,**” Boeing Aero, Seattle, WA, pp. 4–11, 2013.
- [2] W. L. Winston, **Operations Research: Applications and Algorithms**, 4th ed. Toronto: Brooks/Cole, 2004.
- [3] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, **Introduction To Operations Research**, 9th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2010.
- [4] M. Bazaraa, J. J. Jarvis, and H. D. Sherali, **Linear Programming and Network Flows**, 4th ed. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 1977.
- [5] M. Bazargan, **Airline Operations and Scheduling**, 2nd ed. Surrey: as, 2010.
- [6] P. Belobaba, A. Odoni, and C. Barnhart, **The Global Airline Industry**, 1st ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
- [7] J. Banks and Wiley InterScience, **Handbook of simulation : principles, methodology, advances, applications, and practice**. Wiley, 1998.