

## MODELO DE SIMULAÇÃO APLICADO À LOGÍSTICA AÉREA NA REGIÃO AMAZÔNICA

João Paulo de Andrade Dantas<sup>a</sup>, Caio Augusto de Melo Silvestre<sup>b</sup>, Daniel Alberto Pamplona<sup>b</sup>,  
Anibal Tavares de Azevedo<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Estudos Avançados (IEAV)  
São José dos Campos-SP, Brasil

<sup>b</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)  
São José dos Campos-SP, Brasil

<sup>c</sup>Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA)  
Unicamp, Limeira-SP, Brasil

### RESUMO

*A região amazônica possui um grande desafio logístico aéreo para transporte de pessoas e cargas. Nesse contexto, o artigo propõe um modelo de simulação para as rotas aéreas realizadas pela Força Aérea Brasileira, por meio da Aeronave C-105 Amazonas, partindo da cidade de São Gabriel da Cachoeira para os principais Pelotões Especiais de Fronteira (PEFs) da região Amazônica. Amostras das últimas missões aéreas realizadas foram utilizadas para realização da modelagem estatística do problema e validação do modelo de simulação proposto que permitiram uma abordagem mais realística do sistema complexo analisado.*

**PALAVRAS-CHAVE: Logística, Transporte Aéreo, Simulação.**

**ÁREA PRINCIPAL: SIMULAÇÃO**

### 1. INTRODUÇÃO:

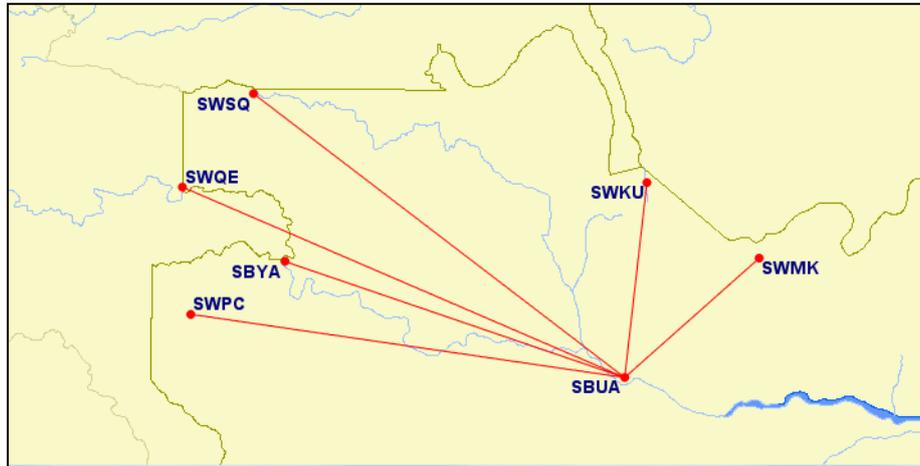
Atualmente, com o objetivo de conservação e proteção territorial do Brasil na Região Amazônica, o Exército Brasileiro criou os Pelotões Especiais de Fronteira (PEFs). Localizados em regiões remotas e de difícil acesso, a sua função é a de ser a presença mais remota do Exército na região de fronteira. A região escolhida para o estudo do suporte logístico é a região de São Gabriel da Cachoeira, conhecida como região da “cabeça do cachorro” a qual se destaca pela importância estratégica. Localizada entre três países: Colômbia, Venezuela e Peru, trata-se de uma região rica em biodiversidade, onde tem se salientado a necessidade da presença do Estado no combate ao tráfico de drogas e a grupos não-estatais, além da proteção à questão indígena (Piletti, 2008). O Exército mantém atualmente seis PEFs localizados nas seguintes regiões: Yauarete, Querari, São Joaquim, Cucui, Maturacá e Pari-Cachoeira. Por se tratar de uma região inóspita e rica em natureza, o suprimento logístico das organizações tornou-se uma tarefa extremamente desafiadora.

A utilização de aeronaves, apesar de ser o modal mais caro, representa a rapidez de ligação entre o PEF e o centro de apoio na região, além de permitir uma maior confiabilidade para a continuidade do suprimento logístico e, em algum dos casos, a única maneira de se chegar à região no transporte de grandes quantidades de carga. As restrições presentes para a operação aérea são: a meteorologia, principalmente nos PEF que não são dotados de auxílios a navegação aérea, restringindo as operações no aeródromo apenas a condições visuais; a disponibilidade da aeronave e as condições estruturais das pistas. A demanda para os pelotões de fronteira da região do rio negro é atendida pela FAB mensalmente. Em cada ciclo mensal, uma aeronave de transporte da Força Aérea Brasileira, o C-105 AMAZONAS, desloca-se para São Gabriel da Cachoeira e a partir desse local distribui os mantimentos para os PEFs de forma contínua até distribuir todo o material. O emprego de um modelo de simulação deste tipo de sistema logístico se faz necessário para auxiliar a tomada de decisão, seja em decisões de cunho estratégico ou operacional.

## 2. COLETA E ANÁLISE DE DADOS:

Para esse estudo serão analisadas as missões de transporte de carga realizadas entre a cidade de São Gabriel da Cachoeira (SBYA) e as cidades Maturacá (SWMK), São Joaquim (SWSQ), Querari (SWQE), Yauaretê (SBYA) e Pari-cachoeira (SWPC). As rotas aéreas dispostas encontram-se na Figura 1 a seguir.

Figura 1: Rotas Aéreas na Região de São Gabriel da Cachoeira.



Fonte: COMAER – Comando da Aeronáutica (2013).

Cada missão aérea consiste em um voo partindo de São Gabriel da Cachoeira para um determinado PEF e o seu respectivo voo de retorno. Foram coletados os dados das operações aéreas de suprimento logístico na região de São Gabriel da Cachoeira. Cada amostra do conjunto de dados consiste nos dados de apenas um voo. A partir de cada amostra, é possível obter parâmetros como rota, horário de decolagem e pouso e peso da carga transportado. Além destes, pode-se obter o tempo de pré-voo (carregamento, descarregamento e abastecimento) por meio de intervalo de tempo entre o último pouso e a próxima decolagem. Devido à sensibilidade dos dados coletados, neste estudo apresenta-se dados fictícios os quais se assemelham bastante com os reais. Para a modelagem do problema proposto foi empregado a distribuição de *Erlang* para os tempos de pré-voo que se mostrou bastante condizente na aplicação do tempo de atendimento aeroportuário para simular os intervalos de tempo pré-voo.

## 3. SIMULAÇÃO:

A partir da análise quantitativa dos dados coletados e por meio de entrevistas com os responsáveis pelo planejamento das missões aéreas foi possível verificar que um dos fatores mais relevantes para planejar uma missão aérea deste tipo são o tempo de carregamento e carga transportada por voo. Surpreendentemente, mesmo existindo uma doutrina rígida para maximização da quantidade de carga transportada por voo para uma maior eficiência no transporte, percebe-se que o peso da carga transportada por perna de voo varia bastante. Isto se dá pela grande variabilidade dos tipos de cargas que as aeronaves precisam transportar na região.

O outro fator crítico para o planejamento é o tempo de carregamento no aeroporto central (SBUA) e nos PEFs. A grande variabilidade deste dado se dá pelas precárias condições de infraestrutura aeroportuária, que dificulta a logística de transporte de carga e pessoas. Além destes, as condições meteorológicas altamente imprevisíveis da região afetam as missões aéreas de forma peculiar. Devido à falta de informação meteorológica precisa sobre a situação dos aeródromos dos PEFs, em algumas ocasiões o piloto só percebe que é incapaz de pousar no aeródromo quando sobrevoa o mesmo. Isso faz com que o dobro de horas de voo, relativas a uma determinada rota, seja perdido.

Para obter melhores estimativas do tempo necessário para realizar as operações e assim fornecer um indicativo do melhor dimensionamento do problema para um certo nível de serviço foi criado um modelo de simulação empregando a linguagem de simulação FlexSim, devido à facilidade de aplicação de aspectos temporais no software de simulação. A estrutura do modelo consiste basicamente na modelagem da cidade base de São Gabriel da Cachoeira, dos PEFs a serem atendidos e da aeronave transportadora da carga. A Figura 2 ilustra o modelo geral de simulação.

Figura 2: Cenários simulados no Software FlexSim.



Fonte: Autor.

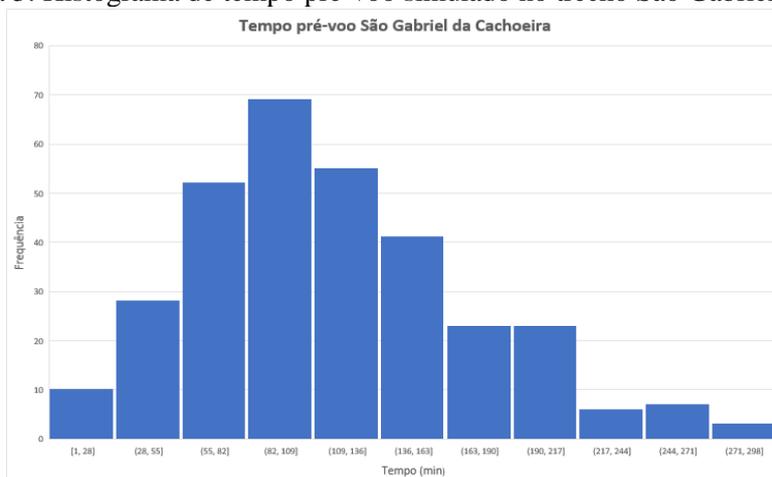
O modelo é configurado de tal forma que em cada perna de voo representa um processo que deve ser realizado por um transportador, neste caso, a aeronave e os aeródromos dos PEFs são representados por *sinks*. A imprevisibilidade das condições meteorológicas é representada por uma probabilidade, consistente com os dados coletados, da aeronave não seguir diretamente para o aeródromo do PEF e necessitar retornar à base central.

A aeronave é configurada de tal forma a ter uma velocidade média compatível com a velocidade média dos voos da região analisados. Além disso, os tempos de pré-voo (incluem o carregamento, o descarregamento e eventuais atividades de manutenção) no aeroporto central e nos PEFs são representados com distribuições de *Erlang* como tempo de carregamento e descarregamento respectivamente. Por último, também devido à falta de infraestrutura aeroportuária, as aeronaves só podem operar no período diurno, para atender a esta demanda a aeronave foi configurada de forma a operar somente em horário compatível, devendo retornar à base para pernoite.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

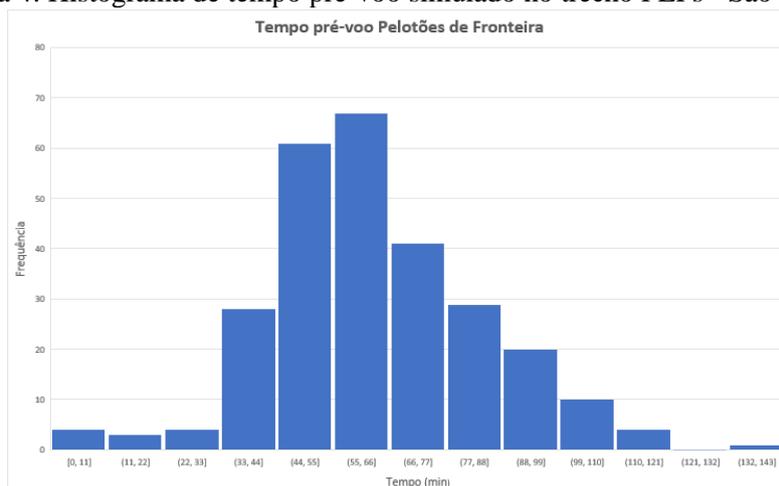
A seguir os resultados relativos a 300 rodadas de simulação são comparados aos dados reais coletados. De maneira qualitativa e empírica, percebe-se que o tempo em cada processo se assemelha ao executado nas missões aéreas na Amazônia. Conforme esperado, a velocidade média e a relação de voos perdidos devido à meteorologia retrataram os processos reais. Já em relação aos parâmetros estocásticos, inseridos nos intervalos de tempo de pré-voo em cada tipo de aeródromo, os resultados são apresentados por meio das Figuras 3 e 4:

Figura 3: Histograma de tempo pré-voo simulado no trecho São Gabriel - PEFs



Fonte: Autor.

Figura 4: Histograma de tempo pré-voos simulado no trecho PEFs - São Gabriel



Fonte: Autor.

Por meio dos dados coletados nos tempos de pré-voos no trecho SBUA – PEFs e nos tempos de pré-voos PEFs – SBUA, nota-se um erro relativo de 7,9% e 4,3% respectivamente. Isso revela a necessidade de uma melhor análise estatística dos dados coletados. Com o melhoramento destes pontos, o modelo pode ser aplicado ao planejamento das missões aéreas da região para um melhor dimensionamento de novas práticas ou utilização de processos mais eficientes para acelerar as operações e minimizar custos.

### 5. CONCLUSÕES:

O transporte aéreo de cargas e passageiros é um grande desafio no dia a dia das operações logísticas no país, principalmente na região Amazônica, que é considerada zona crítica devido ser localizada em regiões de fronteira. Para melhor verificação das missões logísticas que ocorrem na região de São Gabriel da Cachoeira, foi realizado uma simulação de um sistema complexo que inclui o transporte aéreo logístico aos Pelotões Especiais de Fronteira na Amazônia. O modelo de simulação proposto no artigo possui algumas limitações como a utilização de uma aeronave com fatores médios de carga, tempo de voo e tempos de carregamento. Além disso, para efeitos do problema proposto foi considerado somente o tempo de carregamento das missões que estavam saindo de São Gabriel da Cachoeira em direção aos PEFs. Entretanto, o modelo de simulação proposto pode ser aplicado para planejamento operacional e estratégico das missões aéreas realizadas pela Força Aérea, além de ainda poderem ser melhorados por meio de estudos futuros os quais podem fornecer uma metodologia para planejamento robusto de missões aéreas na região. A metodologia presente neste artigo deve ser vista como uma ferramenta de apoio aos profissionais responsáveis pelo suprimento de regiões com difícil acesso.

### 6. AGRADECIMENTOS:

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Pesquisa Operacional (PPG-PO) da associação entre o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e a Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), ao Instituto de Estudos Avançados (IEAV) pelo o apoio de infraestrutura de laboratório e, em especial, a todos os professores e colaboradores que contribuíram para o desenvolvimento desse estudo.

### 7. REFERÊNCIAS:

COMAER - **Comando da Aeronáutica**. Manual de rotas aéreas – ROTAER. 2013.  
 Piletti, F. J. Segurança e defesa da Amazônia: o Exército Brasileiro e as ameaças não tradicionais. Tese de Doutorado. UFRGS, Porto Alegre. 2008.