

OPERAÇÃO COVID-19: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENTRE O KC-390 E O C-130 HÉRCULES POR MEIO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO ¹

COVID-19 OPERATION: EFFICIENCY ANALYSIS BETWEEN KC-390 AND C-130 HÉRCULES THROUGH MONTE CARLO SIMULATION

Gustavo Freitas dos Reis²

Kátia Ferreira de Oliveira*

Marcus Vinicius de Mello Takahashi**

RESUMO

A pandemia da COVID-19 despertou, de forma crescente, a atenção da população quanto aos procedimentos para o melhor enfrentamento da mesma. Com isso houve a necessidade da atuação das Forças Armadas para a maximização do bem-estar da sociedade atual e também a garantia de melhores condições, caso haja pandemias nas gerações futuras. Nesse contexto, a Força Aérea Brasileira (FAB) adquiriu grande destaque nas missões de transporte aéreo logístico presentes na Operação COVID-19, nas quais as aeronaves C-130 Hércules e KC-390 tiveram um envolvimento significativo. Nesse cenário, a aeronave KC-390 vem para substituir a frota de C-130 Hércules, fruto do Plano de Articulação e Equipamento de Defesa (PAED) presente no Livro Branco de Defesa Nacional, para desenvolvimento da aviação de transporte na FAB. Por conseguinte, é importante compreender a eficiência do KC-390 frente ao C-130 Hércules para entender os ganhos da renovação do parque aeronáutico do FAB. Para isso, foi realizada uma pesquisa exploratória para coleta de dados da operação COVID-19, além de pesquisas bibliográficas e documentais para melhor entendimento das características das aeronaves. Com o objetivo de comparar a eficiência, foi utilizada a Simulação de Monte Carlo, por meio da geração de números aleatórios representando a demanda de cargas e distâncias percorridas que foram correlacionadas com velocidade, capacidade e custo logístico da hora de voo de cada aeronave em seis diferentes cenários. Por fim, como esperado, a aeronave KC-390 mostrou-se mais eficiente que o C-130 Hércules em todos os cenários criados.

Palavras-chave: KC-390; C-130; Operação COVID-19; Eficiência; Simulação de Monte Carlo.

¹ Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Intendentes (CFOInt) da Academia da Força Aérea (AFA).

² Cadete Intendente do 4º Esquadrão (Turma Orthus, 2023).

*2º Ten QOCon MMS Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas. Academia da Força Aérea. E-mail: katiakfo@fab.mil.br

**Cel Av R1 Master in Sciences of Management. Academia da Força Aérea. E-mail: takahashimvmt@fab.mil.br

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has increasingly captured the attention of the population regarding the procedures for effectively combating it, thus necessitating the involvement of the Armed Forces to maximize the well-being of the current society and ensure better conditions in the event of future pandemics. In this context, the Brazilian Air Force has played a prominent role in the logistical air transport missions of Operation COVID-19, in which the C-130 Hercules and KC-390 aircraft have had significant involvement. In this scenario, the KC-390 aircraft has been introduced to replace the C-130 Hercules fleet as part of the Defense Articulation and Equipment Plan (PAED) outlined in the National Defense White Paper, aimed at developing transport aviation within the Brazilian Air Force. Therefore, it is important to understand the efficiency of the KC-390 compared to the C-130 Hercules to comprehend the benefits of renewing the FAB's aircraft fleet. To achieve this, exploratory research was conducted to collect data from the operation, as well as bibliographic and documentary research to better understand the characteristics of the aircraft. Monte Carlo Simulation was used to compare the efficiency through the generation of random numbers representing the demand for loads and distances traveled, which were correlated with the speed, capacity, and logistic cost per flight hour of each aircraft in six different scenarios. Ultimately, as expected, the KC-390 aircraft proved to be more efficient than the C-130 Hercules in all the created scenarios.

Keywords: KC-390; C-130; Operation COVID-19; Efficiency; Monte Carlo Simulation.

INTRODUÇÃO

No dia 11 de março de 2020, a OMS classificou a COVID-19 como uma pandemia. Essa decisão buscou aprimorar a coordenação, cooperação e solidariedade global com o objetivo de interromper a propagação do vírus. Nesse contexto, o Ministério da Defesa Brasileiro (MD) aprovou a Diretriz Ministerial de Planejamento n.º 6/GM/MD, em 18 de março de 2020, que dispôs o emprego das Forças Armadas Brasileiras (FFAA) para auxílio conjunto com o Governo Federal a fim de diminuir as consequências do surto do novo coronavírus. Na sequência, o Governo Federal, por meio do Decreto Legislativo n.º 6, de 20 de março de 2020, determinou o estado de calamidade pública no Brasil e acionou o MD para estruturar o emprego das Forças Armadas no combate ao vírus (SANTOS, 2022).

A Concepção Estratégica Força Aérea 100 (DCA 11-45) estabelecida em 2018 define algumas capacidades militares desejadas, das quais podemos destacar duas atuações principais: i) garantir a soberania, a integridade territorial e a defesa patrimonial do país e ii) ajuda humanitária e mitigação de efeitos de desastres (BRASIL, 2018).

Dessa forma, em 20 de março de 2020, iniciou-se a Operação COVID-19, com a ativação do Centro de Operações Conjuntas (COC), na capital do país, além da ativação de dez Comandos Conjuntos e o Comando Aeroespacial. Assim, todo o território nacional ficou ao alcance das FFAA

para a atuação no combate ao novo coronavírus. Nesse cenário, a Força Aérea Brasileira (FAB) necessitou adequar o contexto logístico considerando as particularidades da missão e o dinamismo das ações (SANTOS, 2022). Desse modo, a logística de transporte teve maior destaque por meio das diversas missões de transporte aéreo logístico realizadas e, segundo Santos (2022), a operação teve os seguintes dados:

Em cerca de dezoito meses de operação, a FAB cumpriu mais de 800 missões aéreas, transportando 5.267 toneladas de carga e 930 pacientes, com uma distância percorrida de aproximadamente 3 milhões de quilômetros, equivalente a cerca de 78 voltas na Terra, e perfazendo mais de 4.000 horas de voo (SANTOS, 2022, p. 17).

Para o cumprimento dessa missão, a FAB utilizou basicamente toda a sua capacidade logística, atingindo em todo território nacional mais de 35 municípios em 20 estados e no Distrito Federal por meio das suas principais aeronaves de carga operacional: C-95 (EMB-110), C-97 (EMB-120), C-98 (C-208), C-99 e VC-99 (EMB-145), C-105 e SC-105 (C-295), C-130 e KC-390 (CORDEIRO, 2021).

Essas ações vão ao encontro da visão de futuro da FAB, que está destacada na DCA 11-45, na qual são citados três aspectos essenciais: operacionalidade, modernidade e integração. Todos esses aspectos possuem como objetivo desenvolver uma Força Armada com uma capacidade de pronta-resposta a qualquer ameaça à soberania, com equipamentos no estado da arte para o cumprimento da missão, dotados de tecnologia de ponta para realizar as missões de forma mais eficiente possível para que a missão fim de “manter a soberania do espaço aérea e integrar o território nacional, com vistas à defesa da pátria” seja cumprida (BRASIL, 2018, p. 20).

O Livro Branco da Defesa estabelece, no âmbito do Plano de Articulação e Equipamento de Defesa (PAED), um plano de fortalecimento da Indústria Aeroespacial e de Defesa Brasileira. Esse projeto visa ampliar a integração dessa indústria com a defesa, bem como contribuir para um incremento na competitividade dos produtos oferecidos nos mercados interno e externo. Nesse plano destaca-se o projeto de desenvolvimento e produção da Aeronave Nacional de Transporte e Reabastecimento (Projeto KC-X) (BRASIL, 2012). Assim, como descreve o PAED, o KC-390 surge com a finalidade de substituir o C-130 Hércules da FAB, aeronave que teve seu início na FAB em 1964 quando surgiu com suas primeiras versões chamado de C-130E, com superioridade tecnológica para adquirir vantagens no cumprimento das missões da Aviação de Transporte da FAB, como, por exemplo, o assalto terrestre, a busca e salvamento, a evacuação aeromédica, entre outras (GAVIÃO *et al.*, 2018).

Fruto desse contexto, surge o seguinte questionamento: qual o resultado de eficiência quando comparada a aeronave KC-390 à C-130 Hércules no contexto da Operação COVID-19? Para isso, o presente trabalho tem como objetivo principal realizar uma comparação da eficiência do custo de US\$/ton de material transportado pelas aeronaves KC-390 e C-130 Hércules durante as operações de combate à COVID-19. Para tal fim, utilizou-se o algoritmo de Monte Carlo para simular os cenários de demanda e distância percorrida aleatórios. E como objetivos específicos o artigo tem o propósito de analisar as características e especificidades de cada aeronave, caracterizar as missões de transporte aéreo logísticos, compreender o ciclo de vida de cada avião por meio do conceito da curva da banheira e, por último, elucidar quais foram os possíveis ganhos da introdução do KC-390 ao acervo da FAB.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Para compreensão e embasamento do estudo, julga-se relevante apresentar uma breve revisão teórica sobre os tópicos que orientaram a pesquisa, englobando conceituação da logística, caracterização das aeronaves, definição de eficiência e fundamentos da simulação de Monte Carlo, abrangendo os seus indicadores de desempenho.

1.1 LOGÍSTICA

A logística tem sua origem como um termo militar na qual designava algumas partes das operações militares com grande destaque no que tange ao abastecimento de exércitos em deslocamentos (COSTA; DIAS; GODINHO, 2010). Os autores acrescentam que, além da área militar, a logística sofreu influências das áreas estratégicas, da área dos sistemas de informação e também das áreas da tecnologia. Entretanto, a origem militar está enraizada em seu conceito em que se destacam cinco grandes componentes logísticos: transporte, abastecimento, manutenção, evacuação e hospitalização de feridos e serviços complementares (COSTA; DIAS; GODINHO, 2010).

Sobre a logística militar, Castro (1991, p. 69, *apud* BRAZ, 2004, p. 49) define como “a ciência dos transportes e dos suprimentos, na guerra. É a arte de colocar um número exato de homens, no lugar certo, no tempo certo, com o equipamento adequado”.

A Doutrina Básica da FAB define a logística como a ação de colocar em prática os Meios Aeroespaciais e de Força Aérea para garantir a manutenção dos recursos e serviços de interesses para as operações militares ou ações governamentais por meio de atividades relativas à previsão e à

provisão. Para isso, há uma divisão das atividades logísticas em funções logísticas de Engenharia, Manutenção, Recursos Humanos, Salvamento, Saúde, Suprimento e Transporte (BRASIL, 2020).

No contexto da Operação COVID-19, a FAB utilizou de forma notória as funções de suprimento e de transporte. A primeira é o conjunto de ações cujo objetivo é fornecer, antecipar e manter em boas condições os materiais necessários para o cumprimento de operações militares ou ações governamentais. Já a função transporte é o conjunto de atividades que consiste em deslocar, por diferentes modais (rodoviário, aquaviário e aeroviário), recursos humanos e materiais de apoio necessários para a realização de diferentes missões (BRASIL, 2020).

Segundo as Normas para o Transporte nas Forças Armadas (2013), as cargas que possuem prioridade no transporte são materiais destinados à defesa nacional, calamidade pública, socorro de vida humana e traslado de decessos (BRASIL, 2013).

Nesse cenário caótico, a execução da logística integrada se torna uma das atividades mais complexas no atendimento emergencial. Tal complexidade é proveniente dos desafios gerados pela demanda imprevisível, fato que caracteriza a principal diferença entre a logística humanitária e a empresarial, visto que na segunda há uma demanda pré-estabelecida. Para isso, a logística humanitária, definida como função exigida para garantir o fluxo de suprimentos e pessoas com o propósito de salvar vidas, norteia o desenvolvimento e gerenciamento dos recursos disponíveis (GONÇALVES; MACIEL NETO; VARELLA, 2013).

Com o objetivo de melhor atuar nessa situação, a FAB utilizou do Transporte Aéreo Logístico, caracterizado pelo apoio prestado às operações militares ou ações governamentais, por meio de todas as etapas do processo de transporte, incluindo carregamento, decolagem, aterrissagem e descarregamento de aeronaves visando deslocar material e pessoal para suprir necessidades logísticas, para efetuar as suas principais ações de força aérea (BRASIL, 2020).

1.2 CARACTERÍSTICAS DAS AERONAVES

A aeronave Lockheed C-130 Hércules (Figura 1) tem como parte de sua estrutura quatro turbopropulsores e uma fuselagem toda em metal feita de material de liga de alumínio projetado para pressurização. Sua função principal é o transporte aéreo e na Força Aérea Brasileira, a aeronave possui configurações distintas para realizar ações de Força Aérea, como o transporte aéreo logístico, lançamento de paraquedistas, reabastecimento em voo e busca e salvamento. Sua operação na FAB já passa dos cinquenta anos de serviço, na qual participou de diversas missões militares, civis e

também de ajuda humanitária, como exemplo mais recente temos a Operação COVID-19 (ANDRADE, 2018).



Figura 1 Fotografia do C-130 Hércules

Fonte: reprodução/Força Aérea Brasileira. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/musal/index.php/aeronaves-em-exposicao/55-avioes/391-c-130>. Acesso em: 3 abr. 2023.

O KC-390 Embraer Millennium (Figura 2) veio para substituir o C-130 Hércules nas missões da FAB. Tal decisão foi fruto da proposta de realizar o desenvolvimento e a aquisição de uma nova aeronave ou a aquisição de uma nova versão do Hércules, o C-130 J. Para isso, foi analisado o investimento que seria realizado em cada uma das alternativas, o custo da hora de voo das aeronaves e o estímulo à indústria aeronáutica do país. Por fim, foi observada uma série de vantagens para o desenvolvimento do novo avião de transporte (RIBEIRO, 2017).



Figura 2 Fotografia do KC-390 Embraer Millenium

Fonte: Infomoney. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/negocios/embraer-vende-cinco-avioes-kc-390-por-r-37-bilhoes-para-portugal/>. Acesso em: 3 abr. 2023.

Segundo Quina (2021), o KC-390 Embraer Millenium é uma aeronave multimissão de transporte de nova geração, que possui como capacidades o transporte e lançamento de cargas e tropas, evacuação aeromédica, busca e salvamento e ajuda humanitária. Para isso, a aeronave conta com 2 motores turbofan IAE V2500-E5 que permitem o alcance de uma maior velocidade comparado ao C-130 Hércules.

1.3 EFICIÊNCIA

No que tange ao princípio da eficiência, o autor Gomes (2009) define como a utilização adequada dos recursos para alcançar os objetivos desejados para obter a melhor relação entre custo e benefício, dessa maneira é necessário empregar de forma racional e criteriosa os meios para garantir um processo eficiente.

Amaral (2006) reforça que a eficiência não se preocupa com os fins, mas, sim, com os meios, enquanto isso o princípio da eficácia está relacionado diretamente com os resultados da operação, dois conceitos que podem ser correlacionados, entretanto, nem sempre são características simultâneas.

No cenário da Operação COVID-19, em que o transporte aéreo foi o meio logístico mais utilizado, é necessário que os custos sejam reduzidos ao máximo para uma maior eficiência. Para isso, o aproveitamento da capacidade de carga da aeronave deve ser máximo (CORREIA; MELLO; MEZA, 2011). Mas nem sempre esse conceito pode ser respeitado, prevalecendo o fator tempo. Segundo Gallo *et al.* (2010), apesar de o meio aéreo ser caracterizado por gerar maiores gastos para realizar o transporte de material, este é capaz de reduzir a distância e o tempo. Tais reduções mostraram a essencialidade da atuação da FAB durante a Operação COVID-19.

1.3.1 Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho são usados para monitorar e avaliar um processo. Capazes de avaliar e auxiliar o controle do desempenho logístico de uma operação além de quantificar a eficiência da mesma. Dessa forma, para analisar a eficiência logística de um sistema, é necessário entender as características principais do procedimento a ser estudado (ÂNGELO, 2005).

Segundo Bastos (2003), a avaliação do desempenho logístico do sistema de transporte pode ser analisada por meio de cinco dimensões: custos, qualidade, tempo, flexibilidade e inovação. Bowersox e Closs (2001) acrescentam que o reflexo mais direto no desempenho logístico é o custo gerado para atingir os objetivos propostos.

No contexto da Operação COVID-19, na qual foi necessária uma rápida resposta da FAB para a atuação nas missões de transporte aéreo logístico, fez-se necessária a eficiência de suas aeronaves influenciada pelo custo logístico da hora de voo, capacidade de carga e velocidade da aeronave, a fim de prover uma capacidade de resposta adequada à multiplicidade de situações (SANTOS, 2022).

1.3.1.1 Custo Logístico da Hora de Voo

O Custo Logístico da Hora de Voo (CLHV) é um fator essencial para o gerenciamento dos recursos da FAB. A partir do CLHV, é possível obter informações logísticas importantes, como a quantidade de recursos necessários para operações e a previsão de gastos para o período orçamentário. Além disso, é uma ferramenta de planejamento estratégico usada para apoiar decisões não estruturadas, como a substituição e aposentadoria de aeronaves (MACEDO, 2021).

A metodologia utilizada pela FAB para o cálculo do CLHV, demonstrada na Figura 3, abrange tanto os custos diretos como os custos indiretos, compreendidos como centros de custos que atualmente são utilizados os seguintes: 1. Centro de custo de manutenção e suprimento; 2. Centro de

custo de combustível e lubrificante; 3. Centro de custo de simuladores; 4. Centro de custo de modernização de equipamentos eletrônicos; 5. Centro de custo de aquisição de aeronaves e; 6. Centro de custo de modernização de aeronaves (BRASIL, 2010).

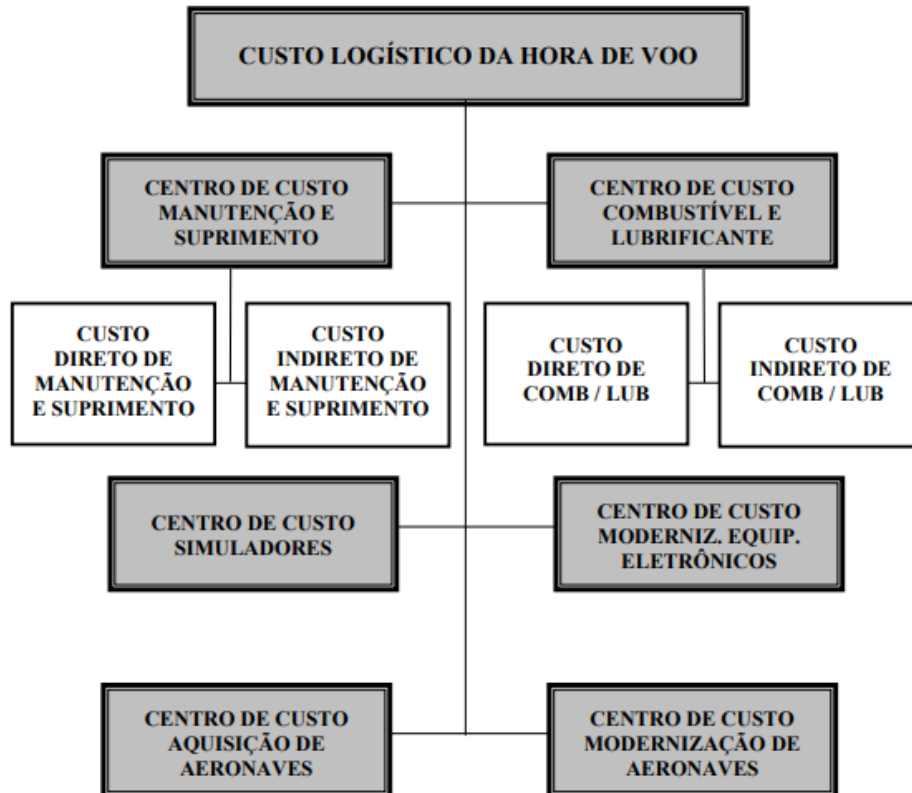


Figura 3 Fluxograma da estrutura do Custo Logístico da Hora de Voo

Fonte: BRASIL (2010, p. 14).

Os métodos utilizados pela FAB são eficientes para o cálculo do CLHV e do ciclo de vida das aeronaves já em atividade, pois fazem uso de dados fundamentados em operações realizadas no passado. Entretanto, na conjuntura de renovação de frotas, como a chegada do KC-390, há uma restrição, pelo fato de não oferecerem uma base de dados significativamente sólida, visto que a aeronave está em seu início de atividade (ABRAHÃO; PINTO, 2018).

1.3.1.2 Capacidade de carga

O conceito de capacidade de carga está diretamente relacionado com o conceito de restrição da carga útil, que, segundo a DCA 1-1, consiste na limitação que as aeronaves possuem para carregar

material, o que pode exigir uma maior quantidade de surtidas necessárias para o cumprimento de um objetivo (BRASIL, 2020).

1.3.1.3 Velocidade da aeronave

Segundo a DCA 1-1, a velocidade da aeronave decorre da sua capacidade de percorrer determinada distância em um determinado tempo. Quanto menor o tempo necessário para concluir o trajeto, mais veloz é o meio aéreo, assim menor será a exposição dos meios aeroespaciais à ação inimiga e menor será o custo logístico relacionado à hora de voo (BRASIL, 2020).

1.3.2 Curva da Banheira

O conceito da curva da banheira descreve a taxa de falha de um equipamento ao longo do tempo. No início da vida útil da aeronave, há uma alta taxa de falha, que diminui gradualmente, estabilizando em uma frequência constante de falhas aleatórias. Ao final da vida útil, há um aumento considerável na taxa de falha indicando o fim do ciclo de vida (LOYOLA *et al.*, 2016).

Segundo Ucelli (2019), a taxa de falha representa a quantidade de ocorrências não bem-sucedidas que podem ocorrer no produto durante um período de tempo. A forma como a taxa de falhas se comporta ao longo do tempo fornece uma indicação das causas das falhas expressa na curva da banheira, demonstrada na Figura 4.

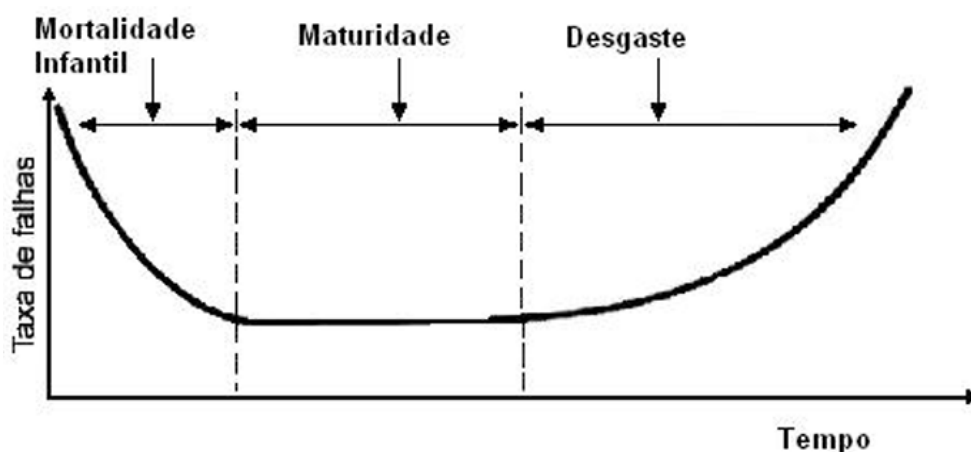


Figura 4 Curva da banheira

Fonte: DUEK (2005, p. 43).

No intervalo de tempo indicado na primeira região do gráfico, chamado de mortalidade infantil, ocorrem as chamadas falhas prematuras. Nessa fase, a taxa de falhas é alta, causadas por problemas de projeto, fabricação ou montagem, entretanto está em processo de decréscimo (DUEK, 2005).

A região central da curva da banheira, denominada de maturidade, é composta por taxas de falhas constantes nomeadas vida útil. Durante essa fase, ocorrem falhas reconhecidas como aleatórias que são geralmente motivadas por erros de operação ou eventos externos inesperados (UCELLI, 2019).

Por fim, ao final do ciclo de vida, representado pela região denominada desgaste, há um crescimento súbito e contínuo da taxa de falhas, resultando no aumento do número de manutenção das aeronaves. Dessa forma, sob a perspectiva do ciclo de vida do avião, deve haver uma tomada de decisão acerca da ação mais vantajosa a ser executada, podendo optar-se pela modernização, substituição ou desativação do produto (DUEK, 2005).

Segundo a DCA 400-6 o ciclo de vida é definido como:

Conjunto de procedimentos que vai desde a detecção da necessidade operacional, seu pleno atendimento por intermédio de um Sistema ou Material, a confrontação deste com os requisitos estabelecidos, o seu emprego, a avaliação operacional, a sua oportuna modernização ou revitalização até a sua desativação (BRASIL, 2007, p. 11).

A DCA 400-6 acrescenta o conceito de cinco fases do ciclo de vida, dividido em: Concepção, Viabilidade, Definição, Desenvolvimento/Aquisição, Produção, Implantação, Utilização, Modernização e Desativação. É válido destacar duas principais fases: a utilização e a desativação. A primeira fase, na qual o KC-390 se encontra, é caracterizada pelas atividades logísticas e operacionais, contendo, também, a avaliação de desempenho em operação da aeronave, como também os aspectos de garantia de qualidade. Já na fase de desativação, que é o caso da aeronave C-130, são desenvolvidas as ações para o planejamento e a execução da retirada da aeronave de serviço, encerrando assim seu ciclo de vida (BRASIL, 2007).

1.4 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Segundo Armando (2020), a Simulação de Monte Carlo consiste em um ramo da matemática aplicada que faz uso de experimentos por meio de números aleatórios. A ideia principal do método

consiste na aplicação de experimentos, a fim de aproveitar o máximo da força da análise teórica e, ao mesmo tempo, diminuir as incertezas. Para isso, durante uma simulação, os resultados são calculados várias vezes por meio de um conjunto distinto de valores aleatórios gerados por funções de probabilidades em todas as etapas da realização do cálculo. Ao passo que, ao final dos experimentos, seja obtida como produto uma distribuição de probabilidades dos possíveis resultados. Por fim, será obtido um número mais abrangente de possibilidades, os quais serão apresentados como dados os casos que poderão ocorrer, além da probabilidade de ocorrência dos eventos.

Souza (2004) ainda resume a Simulação de Monte Carlo como uma metodologia que usa uma sequência de números aleatórios para gerar uma simulação. O autor acrescenta que para um melhor processo de simulação é necessário que os dados de entrada sejam baseados em análises empíricas e históricas dos dados e uma adequação dos parâmetros em caso de indisponibilidade de dados.

2 METODOLOGIA

Nessa seção será inicialmente feita a apresentação dos desdobramentos da etapa de trabalho propostas para a avaliação do efeito que diferentes variáveis possuem na eficiência de uma aeronave no transporte aéreo logístico.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa exploratória com levantamento documental, devido ao pouco conhecimento acerca das operações de combate à pandemia realizadas pela FAB. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa exploratória tem como finalidade facilitar a delimitação do tema por meio de uma investigação, possibilitando assim sua definição. Portanto, visando levantar os dados da Operação COVID-19, foi utilizada a revista *Aerovisão*³, artigos e notícias oficiais da FAB como embasamento teórico.

O procedimento de coleta de dados das aeronaves KC-390 e C-130H foi bibliográfico, por ser desenvolvido com base em materiais já elaborados por diversos autores e constituídos principalmente de artigos científicos.

³ A *Aerovisão* é uma revista administrada pelo Centro de Comunicação Social da Aeronáutica (CECOMSAER), que visa à divulgação de informações gerais sobre as atividades da Força Aérea para o âmbito civil, por meio de um canal de informações transparentes e confiáveis.

Por fim, para atingir os objetivos e responder à problematização apresentada neste artigo, foi utilizado o Método de Simulação de Monte Carlo para analisar os dados quantitativos referentes à eficiência das aeronaves.

2.2 ETAPAS DO MÉTODO PROPOSTO

Seguindo a estratégia de pesquisa adotada, o estudo foi dividido em três etapas. Na primeira etapa, foram coletados e analisados os dados; na segunda, definiram-se os produtos que seriam analisados e os parâmetros definidos a cada um deles; na terceira, foram testados seis cenários para a simulação proposta.

2.2.1 Coleta e análise dos dados

Para iniciar o estudo, foi limitada a Operação COVID-19 no período histórico compreendido entre 8/1/2021 e 19/5/2021, para a obtenção dos dados necessários para a simulação.

Consoante a edição número 268 da revista *Aerovisão* (2021), foi apresentado que 5.140 toneladas de carga foram transportadas por meio de transporte aéreo logístico no decorrer dos 131 dias de operação, contabilizando 5.700 horas totais de voo operado pelas aeronaves da aeronáutica, com uma média de 5.000 km percorridos por dia.

A tabela a seguir dispõe de dados acerca das aeronaves em estudo tendo como fonte o autor Gavião *et al.* (2018).

Tabela 1 Parâmetros de desempenho técnico das aeronaves

Aeronave	Carga Máxima	Velocidade máxima
Unidade	Ton	Km/h
KC-390	26	870
C-130H	19	589

Fonte: elaborado pelo autor e adaptado de Gavião *et al.* (2018).

O Custo Logístico da Hora de Voo de cada aeronave foi definido por meio de um contato telefônico com o Oficial da Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico (DIRMAB) responsável pelo

custo, no qual foi solicitado os CLHV das aeronaves C-130 Hércules e KC-390. As informações foram transformadas em custo logístico por quilômetros voados, considerando as informações disponíveis sobre velocidade de cruzeiro de cada aeronave. É válido ressaltar que, devido à diferença de etapas do ciclo de vida em que as aeronaves se encontram, o KC-390 no início da curva da banheira e o C-130H no final, tal valor pode sofrer variações com o tempo.

2.2.2 Definição das variáveis e seu parâmetros

Para calcular a eficiência de cada aeronave foram utilizadas como variáveis fixas:

- **Capacidade de Carga:** KC-390 com 26 Toneladas e o C-130H com 19 toneladas;
- **Velocidade de aeronave:** KC-390 com 870 km/h e o C-130H com 589 km/h;
- **Custo Logístico da Hora de Voo:** dado obtido na DIRMAB, apenas para efeito de cálculo; não é objetivo desta pesquisa divulgá-lo.

Para diferenciar os cenários de simulação, a demanda de carga foi variada em seis situações:

1. Demanda abaixo da capacidade do C-130H, 10 toneladas, com um desvio-padrão de duas toneladas; 2. Demanda próxima à capacidade do C-130H, 19 toneladas com desvio-padrão de quatro toneladas; 3. Demanda entre as capacidades do C-130H e KC-390, 22,5 toneladas com desvio-padrão de quatro toneladas; 4. Demanda próxima à capacidade do KC-390, 26 toneladas com desvio-padrão de cinco toneladas; 5. Demanda média da Operação Covid-19, 39 toneladas com desvio-padrão de oito toneladas; e 6. Demanda máxima realizada na Operação Covid-19, 60 toneladas com desvio-padrão de 12 toneladas. Além da variação de demanda de carga, houve também uma variação média da distância percorrida em cada cenário, baseado em valores divulgados no principal site de notícias da FAB, foi utilizada uma média de 5.000 km percorridos por dia com um desvio-padrão de 1.000 km.

Tais cenários e desvios-padrões foram propostos conforme análise das informações apresentadas no site da Operação COVID-19 da FAB (2021). Por se tratar de um cenário caótico, em que não puderam ser considerados fatores que otimizam o uso da aeronave e rotas inteligentes, em que a urgência do transporte pré-estabeleceu o uso da aeronave e a rota traçada por ela, as cargas transportadas ficaram por vezes aquém da capacidade máxima da aeronave. A exemplo, no dia

15/01/2021, uma aeronave KC-390 decolou de Recife/PE para Manaus/AM transportando 8,5 toneladas de material hospitalar FAB (2021); o que representa 32,7% da sua capacidade total.⁴

2.2.3 Simulação

Após as coletas de dados e determinação dos parâmetros, deu-se início à simulação de cenários, nos quais os pontos de variação foram a demanda de carga diária e a distância percorrida. A simulação de Monte Carlo foi feita por meio do programa *Python 3* e do *software Jupyter*. Para isso, foram realizadas 50 simulações de 365 dias de operações, contabilizando ao final 18.250 eventos simulados para cada cenário definido. Em anexo encontra-se o exemplar do código utilizado para gerar a simulação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em primeiro lugar, o *software* gerou dados aleatórios de demanda de carga diária e de distância percorrida baseado nas médias e desvios padrões definidos no Item 2 deste artigo. Após isso, cada resultado foi relacionado com as características de velocidade, capacidade de carga e custo logístico por quilômetros voados de cada aeronave. Por meio dessa relação foi calculada também a necessidade ou não do uso de mais aeronaves para o cumprimento da missão com o objetivo de calcular o custo final de cada aeronave. Assim, observando o Gráfico 1, é possível visualizar a média de custo final de cada aeronave nos diferentes cenários descritos.

⁴ Informações acerca desta operação estão publicadas no principal site de notícias da FAB, disponível no seguinte endereço: [https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/36847/OPERA%C3%87%C3%83O%20COVID-19%20-%20Aeronaves%20da%20FAB%20realizam%20transporte%20de%20insumo%20e%20oxig%C3%AAnio%20para%20Manaus%20\(AM\)#:~:text=Nesta%20sexta%2Dfeira%20\(15\),%2C%20tendas%2C%20geradores%20e%20barracas](https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/36847/OPERA%C3%87%C3%83O%20COVID-19%20-%20Aeronaves%20da%20FAB%20realizam%20transporte%20de%20insumo%20e%20oxig%C3%AAnio%20para%20Manaus%20(AM)#:~:text=Nesta%20sexta%2Dfeira%20(15),%2C%20tendas%2C%20geradores%20e%20barracas). Acesso em: 10 jun. 2023.

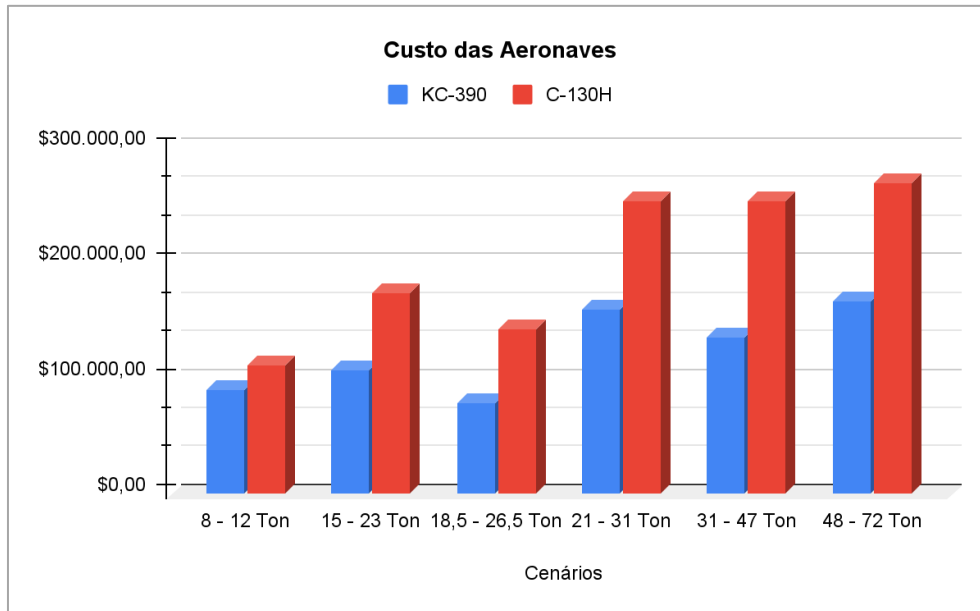


Gráfico 1 Custo das aeronaves

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Ao analisar o gráfico 1, é possível observar que a aeronave C-130H em todos os seis cenários foi mais custosa que o KC-390. A capacidade do KC-390 de operar com uma velocidade de cruzeiro superior influencia diretamente no custo final da aeronave, pois assim o custo logístico por quilômetros voados ao final do cálculo fica menor que a do C-130H. Dessa forma, mesmo possuindo um Custo Logístico da Hora de Voo superior, a aeronave KC-390 se mostra mais barata e eficiente para as operações realizadas na COVID-19.

O Gráfico 2 mostra o quão eficiente foi o KC-390 em relação ao C-130H em termos percentuais.

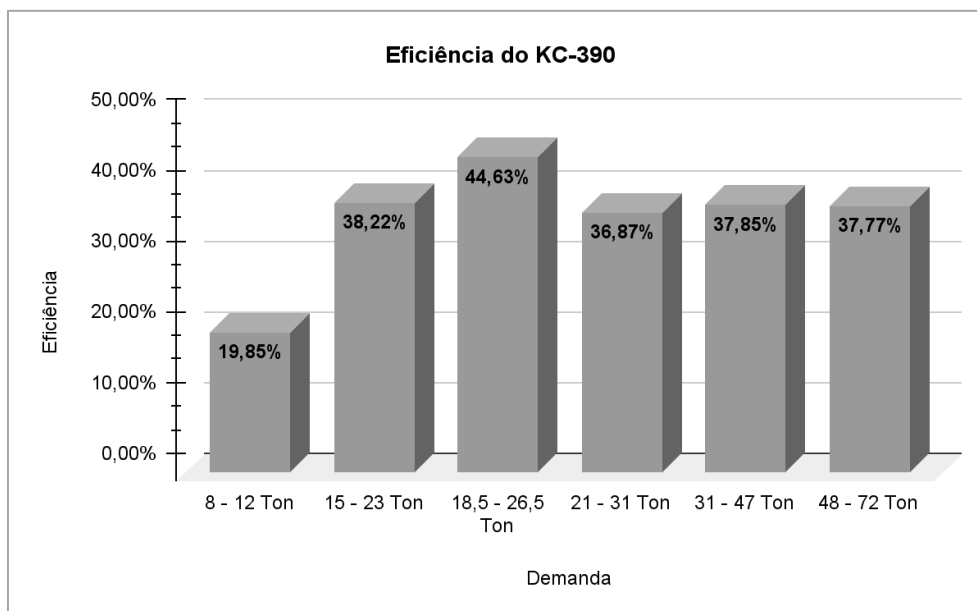


Gráfico 2 Eficiência do KC-390 em relação ao C-130H

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Em primeiro lugar, ao analisar o cenário 1, no qual foi demandada a menor quantidade de carga, foi visto também a menor eficiência registrada, de apenas 19,85%, cerca de aproximadamente 20 mil dólares mais barato o uso do KC-390 em relação ao C-130H. Tal fato é justificado pela capacidade de carga que cada aeronave possui, como a demanda foi inferior ao limite suportado por cada aeronave, é necessário apenas um avião de cada modelo para o cumprimento da missão, portanto essa eficiência registrada está diretamente relacionada com o custo logístico por quilômetros voados.

No cenário 2, no qual a demanda foi próxima da capacidade máxima do C-130H (15 a 23 toneladas), a eficiência subiu para 38,22%, cerca de 70 mil dólares de economia. Esse acréscimo é resultante de eventos em que a demanda de carga foi superior ao limite de 19 toneladas suportado pela aeronave, visto que o desvio-padrão foi de 4 toneladas, na faixa de 20 a 23 toneladas é necessário mais de um C-130H para o carregamento ser feito por completo. Por outro lado, o KC-390 é capaz de realizar a operação com o uso de apenas uma aeronave, visto que sua capacidade máxima é de 26 toneladas, assim o custo final será inferior ao do C-130H.

O pico máximo de eficiência registrado se encontra no cenário 3, no qual a demanda de carga esteve entre as capacidades máximas de cada aeronave (18,5 a 26,5 toneladas). Além disso, nos cenários 4, 5 e 6, nos quais a demanda de carga foi superior à capacidade máxima do KC-390, foi observada uma queda da eficiência, entretanto ainda assim a aeronave se mostra mais eficiente que o C-130H.

É importante ressaltar que os cenários estudados neste artigo são apenas ilustrativos, entretanto foram baseados em dados obtidos nas notícias divulgadas pela FAB da Operação COVID-19, assim foram simuladas situações próximas da realidade ocorrida no período. Além disso, em situações de calamidade pública, como é o contexto deste artigo, por vezes as aeronaves transportam materiais com pesagem inferior à sua capacidade máxima, que seria o contexto de máxima eficiência, pois situações de emergências podem ocorrer e o material transportado ser de uso urgente para salvar vidas.

Há de considerar, também, que as duas aeronaves estudadas se encontram em diferentes momentos do ciclo de vida, enquanto o KC-390 está na fase de utilização, o C-130H está em seu processo de desativação. Loyola *et. al* (2016), em sua análise de confiabilidade, já apontava desde 2016 que, devido à taxa de falha estar em fase crescente, constatou-se que o sistema motopropulsor do C-130 Hércules encontrava-se na fase de desgaste, o que sinalizava o final da vida útil da aeronave.

Relacionado com o conceito da Curva da Banheira, é possível dizer que o KC-390 está em processo de estabilização da taxa de falhas, enquanto o C-130 Hércules está em um crescimento súbito e contínuo das taxas de falhas. Portanto, existe uma restrição no cálculo do Custo Logístico da Hora de Voo de cada aeronave, pois há uma influência dessas taxas no cálculo final do custo.

Por fim, mesmo que o KC-390 apresente um Custo Logístico da Hora de Voo superior ao C-130H, a velocidade superior e a capacidade de carga superior da aeronave garantiram uma maior eficiência. Pois, além de completar as missões de forma mais rápida, a aeronave é capaz de transportar uma maior quantidade de carga com menos aviões, diminuindo assim seu custo final.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reiterando o questionamento base do trabalho: “Qual o resultado de eficiência quando comparada a aeronave KC-390 à C-130 Hércules no contexto da Operação COVID-19?”

No decorrer deste trabalho, observou-se que no contexto da Operação COVID-19, a aeronave KC-390 se mostrou mais eficiente quando comparada ao C-130 Hércules, principalmente quando a demanda de carga esteve entre 18,5 e 26,5 toneladas. No presente estudo, as características das aeronaves se mantiveram constantes, enquanto houve variação da demanda de carga e distância percorrida, surgindo assim diferentes cenários.

Em primeiro lugar, no contexto de menor demanda de carga (8 a 12 toneladas), a eficiência teve seu menor grau. Tal fato foi justificado pelo fato de as aeronaves suportarem a quantidade de carga solicitada, sendo assim, para o cumprimento da missão, apenas uma aeronave é o suficiente.

Mesmo que o KC-390 possua um Custo Logístico da Hora de Voo superior ao do C-130 Hércules, o fato de ser mais veloz diminui o seu custo logístico por quilômetros voados, sendo assim a aeronave se mostra mais eficiente ao final do processo.

A partir do momento em que a demanda foi superior à capacidade do C-130 Hércules (19 toneladas), houve um acréscimo significativo de eficiência do KC-390, chegando ao pico máximo de 44,63% mais eficiente. Quando o cenário ultrapassa a capacidade de carga do KC-390, há uma queda de eficiência, entretanto a aeronave se mantém mais eficiente.

Portanto, a introdução do KC-390 no acervo da FAB traz uma evolução significativa para a Força Aérea, além de um importante desenvolvimento para a indústria de aeronáutica brasileira, visto que a execução do desenvolvimento do projeto foi feito pela EMBRAER. Assim, as missões, que antes eram realizadas pelo C-130 Hércules, serão agora executadas com maior economia e velocidade.

É importante destacar que, quando analisado o ciclo de vida de cada avião, é visto que o KC-390, introduzido recentemente ao acervo da FAB, está na fase de utilização, enquanto o C-130 Hércules está em desativação. Dessa forma, relacionado com o conceito de curva da banheira, o custo logístico da hora de voo das aeronaves é prejudicado devido ao cenário em que cada uma se encontra. A primeira apresenta falhas iniciais, que estão em processo de estabilização, que podem ser provenientes de problemas de projeto ou até mesmo falhas no treinamento inicial, enquanto a outra apresenta maior número de falhas por se encontrar no final do seu ciclo de vida.

Por fim, cabe ressaltar que os dados obtidos e resultados gerados foram espelhados na Operação COVID-19, pandemia que teve características singulares e demandas específicas quanto à necessidade da população. Além disso, a carência de informações precisas acerca de todas as operações realizadas pela FAB levou à necessidade de utilizar o método de Monte Carlo, simulando cenários caóticos, semelhantes às demandas das missões divulgadas via boletins da FAB. Dessa forma, é importante que futuros estudos se adéquem ao contexto inserido para que o cálculo e resultados sejam coerentes com a realidade estudada.

Portanto, propõe-se a continuidade da pesquisa relacionada quanto a eficiência da aeronave KC-390 frente à aeronave C-130 Hércules. Para isso, em situações em que os dados de carga transportada e distância percorrida são sabidos, é possível realizar futuras análises estatísticas dos dados, como média, desvio-padrão, teste de hipóteses, ajustes de curvas de distribuição e cálculos de probabilidades.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, Fernando Teixeira Mendes; PINTO, Danilo Garcia Figueiredo. Custo do Ciclo de Vida: Proposta de Método de Cálculo Prospectivo e Análise de Sensibilidade a Fatores de Confiabilidade e Manutenibilidade. *In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA*, 20, 2018. **Anais [...]**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2018. Disponível em: https://www.sige.ita.br/edicoes-antiores/2018/st/ST_04_2.pdf. Acesso em: 10 jun. 2023.

AMARAL, Antônio Carlos Cintra do. O princípio da eficiência no direito administrativo. **Revista Eletrônica sobre a Reforma do Estado**. Salvador, n. 5, 2006.

ANDRADE, Magno Ferreira de. **Estudo e aplicação de ensaios não destrutivos em aeronaves militares C-130 Hércules**. Monografia (Especialização) – Universidade de Taubaté, Taubaté-SP, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/5066>. Acesso em: 14 abr. 2023.

ÂNGELO, Livia B. **Indicadores de desempenho logístico**. Grupo de Estudos Logísticos Universidade Federal de Santa Catarina: UFSC, 2005. Disponível em: <https://pessoas.feb.unesp.br/vagner/files/2009/02/indicadores-logisticos.pdf>. Acesso em: 11 maio 2023.

ARMANDO, Hudson Rodrigues. **Uso do método Monte Carlo cinético no estudo do transporte de carga em heterojunções orgânicas livres de fulerenos**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/39891>. Acesso em: 25 mar. 2023.

BASTOS, Isabela Deschamps. **Avaliação do desempenho logístico do serviço de transporte rodoviário de cargas — um estudo de caso no setor de revestimentos cerâmicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85276>. Acesso em: 24 mar. 2023.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Atlas, 2001.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico. **ICA 400-2: Custo Logístico da Hora de Voo**. Brasília-DF, 2010.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. DCA 11-45 **Concepção Estratégica Força Aérea 100**. Brasília-DF, 2018.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. DCA 1-1. **Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira**. Brasília-DF, 2020.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. DCA 400-6. **Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica**. Brasília-DF, 2007.

BRASIL, Ministério da Defesa. **Livro Branco de Defesa Nacional**. Versão sob apreciação do Congresso Nacional (Lei Complementar nº 97/1999, art. 9º, § 3º), Brasília-DF, 2012. Disponível em: <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/465>. Acesso em: 24 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. MD34-N-01. **Normas para o transporte nas Forças Armadas**. Brasília-DF, 2013.

BRAZ, Márcio Alexandre de Lima. **A logística militar e o serviço de intendência: uma análise do programa excelência gerencial do Exército Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro-RJ, 2004. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/3394/DISSERTACAO%20MARCIO%20BRAZ.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2023.

CORDEIRO, Luis E. Força Aérea Brasileira contra COVID-19 um estudo de caso. **Revista Profissional da Força Aérea dos EUA (Primeira Edição de 2021)**, p. 98-108, 2021. Disponível em: https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/JOTA/Journals/Volume%203%20Issue%201/04-Cordeiro_port.pdf. Acesso em: 23 mar. 2023.

CORREIA, Teresa Cristina Vilar do Domingues; MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de; MEZA, Lidia Angulo. Eficiência técnica das companhias aéreas brasileiras: um estudo com análise envoltória de dados e conjuntos nebulosos. **Production**, v. 21, p. 676-683, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/w8hxgTZYNGWG3fpqLvddCPM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 mar. 2023.

COSTA, João Paulo; DIAS, Joana Matos; GODINHO, Pedro. **Logística**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2010.

DUEK, Carlos. **Análise de confiabilidade na manutenção de componente mecânico de aviação**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8428/CARLOSDUEK.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 abr. 2023.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA. **Combate ao Coronavírus**. [S.l.], 2021. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/operacaocovid19/>. Acesso em: 21 abr. 2023.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA. Operação Covid-19. **Aerovisão**, v. 48, n. 268, 2021. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/37084/AEROVIS%C3%83O%20-%20Nova%20edi%C3%A7%C3%A3o%20da%20revista%20destaca%20os%20esfor%C3%A7os%20de%20guerra%20da%20FAB%20contra%20a%20COVID-19>. Acesso em: 21 abr. 2023.

GALLO, Adriano *et al.* O sistema logístico brasileiro. **Revista Científica do Itpac**, Araguaína, v. 3, n. 3, p. 21-35, 2010.

GAVIÃO, Luiz Octávio *et al.* A pesquisa operacional na avaliação de produtos de defesa: uma aplicação do modelo CPP-AHP para comparação do KC-390 com o C-130. *In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DE DEFESA*, 10, 2018, São Paulo. **Anais Eletrônicos** [...]. São Paulo: Associação Brasileira de Estudos de Defesa e Universidade de

São Paulo, 2018. Disponível em: [https://www.enabed2018.abedef.org/resources/anais/8/1534459901_ARQUIVO_10ENABEDArtigo\[v3\].pdf](https://www.enabed2018.abedef.org/resources/anais/8/1534459901_ARQUIVO_10ENABEDArtigo[v3].pdf). Acesso em: 28 jun. 2023.

GOMES, Eduardo Granha Magalhães. **Gestão por resultados e eficiência na administração pública**: uma análise à luz da experiência do governo de Minas Gerais. Dissertação (Doutorado em Administração Pública e Governo) – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/4652/72050100745.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2023.

GONÇALVES, Mirian Buss; MACIEL NETO, Thiago; VARELLA, Leonardo. Logística militar x logística humanitária: conceitos, relações e operações das forças armadas brasileiras. *In*: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO DE TRANSPORTES, 27, 2013, Belém. **Anais [...]**. Belém: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte e Universidade Federal do Pará, 2016. Disponível em: https://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/91_AC.pdf. Acesso em: 28 jun. 2023.

LOYOLA, Denise *et al.* Análise de confiabilidade de motopropulsores da aeronave C-130 Hércules da Força Aérea Brasileira. *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 8. 2016, São Cristóvão. **Anais [...]**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe 2016. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7748/2/AnaliseConfiabilidadeC-130.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2023.

MACEDO, João Victor Leite. **Método de apuração do custo logístico da hora de voo da Força Aérea Brasileira**. Monografia (Curso de Formação de Oficiais Aviadores) – Academia da Força Aérea, Pirassununga, SP, 2021. Disponível em: https://redeb.aer.mil.br/index.php?codigo_sophia=85059. Acesso em: 20 abr. 2023.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QUINA, David. **Emprego operacional e afetação do regime de esforço do sistema de armas KC-390 Millennium**. Trabalho de Investigação Individual (Curso de Promoção a Oficial Superior das Forças Aéreas) – Instituto Universitário Militar, Pedrouços-Portugal, 2021. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/37498/1/Emprego%20operacional%20e%20afeta%C3%A7%C3%A3o%20do%20regime%20de%20esfor%C3%A7o%20do%20sistema%20de%20armas%20KC-390%20Millennium%20%20Cap%20David%20Quina.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

RIBEIRO, Cássio Garcia. Encomendas tecnológicas realizadas pela FAB: o Programa KC-390. **Radar**, v. 52, 2017. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/radar/170801_radar_52_cap_03.pdf. Acesso em: 13 mar. 2023.

SANTOS, Soraia Amin dos. **A atuação da Força Aérea Brasileira na operação COVID-19**: um estudo de caso. Trabalho de Investigação Individual (Curso de Estado-Maior Conjunto). Instituto Universitário Militar, Pedrouços-Portugal, 2022. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/41639/1/Soraia%20Amin%20dos%20Santos.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

SOUZA, M. C. M. **Quantificação das incertezas na avaliação de projetos**: o modelo utilizado na Agência de Fomento do Estado da Bahia. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

UCELLI, Vinicius Santa Clara. **Definição de estratégia de manutenção utilizando técnicas de confiabilidade**. Monografia de Especialização (Especialista em Engenharia da Confiabilidade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18601/2/CT_CEECVIT_II_2019_36.pdf. Acesso em: 10 jun. 2023.

ANEXO A - EXEMPLO DO CÓDIGO UTILIZADO PARA GERAR A SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

```
In [88]: import random
import numpy as np
import pandas as pd

In [89]: ##CALCULO DA QUANTIDADE DE VIAGENS E CUSTO POR AERONAVE DE ACORDO
##COM A CARGA PAGA

# o código abaixo gera de forma aleatoria uma determinada "carga paga"
#de acordo com a média e desvio padrão informados
# e calcula a quantidade de viagens necessárias para que aeronaves c-130
#e kc- consigam transportá-las integralmente
# considerando as limitações de 26 e 19 ton respectivamente
carga_paga =float(input("Digite a carga_paga (média:"))
desv_pad_carga_paga=float(input("Digite o desvio padrão:"))
custo_c130 = float(input("Digite o custo por km da aeronave c130:"))
custo_kc390 = float(input("Digite o custo por km da aeronave kc390:"))

lista_aux= []
lista_m = []
for a in range (5*365):
    carga = np.random.normal(carga_paga,desv_pad_carga_paga)
    dist = np.random.normal(5000,1000)
    c130 = int(carga/19+1)
    kc390 = int(carga/26+1)
    custo_missao_c130 = custo_c130*c130*dist
    custo_missao_kc390 = custo_kc390*kc390*dist
    #print(carga, '_____',c130,' ',kc390, '_____',custo_missao_c130,'
    lista_aux.append(carga)
    lista_aux.append(c130)
    lista_aux.append(kc390)
    lista_aux.append(custo_missao_c130)
    lista_aux.append(custo_missao_kc390)
    lista_m.append(lista_aux)
    lista_aux=[]

Digite a carga_paga (média):60
Digite o desvio padrão:12
Digite o custo por km da aeronave c130:123
Digite o custo por km da aeronave kc390:123

In [90]: #lista_m

In [91]: cabecalho = ['carga_paga','#c-130','#kc390','#custo c130', '#custo kc390']
dfReis=pd.DataFrame(lista_m)

In [92]: dfReis.columns=cabecalho

In [93]: #dfReis

In [94]: #dfReis.to_excel('TCC_Reis.xlsx')

In [ ]: ##As informações constantes dos custos estão incorretas
# Foram inseridas apenas para efeito de teste
```