

Análise de Métricas de Eficiência Operacional em Missões de Ressuprimento Aéreo

Pedro Henrique Amancio de Carvalho¹, Mauri Aparecido de Oliveira¹ e Caio Augusto de Melo Silvestre¹

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo – O ressuprimento aéreo é uma ação de Força Aérea destinada a apoiar tropas terrestres com o lançamento de materiais de interesse por vetores aéreos em locais de acesso dificultado, seja por causa de restrições físicas ou situacionais. Para que uma missão de ressuprimento aéreo seja bem sucedida, a carga lançada deve atingir o solo a uma determinada distância do centro da zona de lançamento, porém, em um cenário operacional com dimensões menores que as estipuladas nos manuais de doutrina da Força Aérea Brasileira, a taxa de acerto do lançamento fica comprometida. Este trabalho teve como objetivo analisar as métricas de eficiência dos lançamentos aéreos por meio dos dados coletados de esquadrões de transporte. Os resultados obtidos foram a identificação do intervalo de confiança para os lançamentos realizados por esses esquadrões e a probabilidade de sucesso dada uma dimensão específica da zona de lançamento.

Palavras-Chave – Ressuprimento Aéreo, Análise Operacional, Intervalo de Confiança.

I. INTRODUÇÃO

A missão-síntese da Força Aérea Brasileira é “manter a soberania do espaço aéreo e integrar o território nacional, com vistas à defesa da pátria” (BRASIL, 2020). Para isso, a aviação de transporte exerce importante função ao interligar as diversas regiões brasileiras, principalmente aquelas isoladas de tal forma que a única maneira viável de alcançá-las é por meio de vetores aéreos. A Amazônia é um ótimo exemplo visto que muitos de seus municípios e aldeias ficam isolados de grandes centros urbanos.

Diante da inexistência de zonas de pouso nas áreas de interesse ou na impraticabilidade deles, o suprimento de pessoal e de cargas pode ser executada por meio do lançamento aéreo que “é uma técnica utilizada para entrega de cargas e de militares mediante uso de paraquedas estando a aeronave em voo” (BRASIL, 2014).

Este trabalho pretende analisar a eficiência desses lançamentos aéreos e estimar uma probabilidade de acerto para zonas de lançamentos com dimensões mais restritivas que as estabelecidas pelos manuais de doutrina da FAB. Por se tratar de um assunto sensível, os nomes dos esquadrões aéreos, a aeronave e os nomes dos tripulantes foram omitidos.

A linha de raciocínio para avaliar a métrica de eficiência dos lançamentos aéreos, e as probabilidades a partir dela geradas, se baseará na separação do banco de dados em um grupo para treino e outro para teste. Na partição destinada para o treino será identificada a distribuição mais adequada para a variável distância, calculado o intervalo de confiança para a média dos lançamentos aéreos e calculada a probabilidade de sucesso para uma ZL com dimensões específicas.

P. H. A. Carvalho, carvalhophac@fab.mil.br; M. A. Oliveira, mauri@ita.br; C. A. M. Silvestre, silvestrecams@fab.mil.br.

Na partição de teste serão checadas as afirmações obtidas calculando a proporção das observações que realmente atendem aos requisitos adotados.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o completo entendimento dos dados apresentados neste trabalho, faz-se necessário uma breve apresentação de conceitos inerentes à ação de Força Aérea de Ressuprimento Aéreo e de como é feita a contabilização do resultado na Zona de Lançamento. Feito isso, os resultados serão interpretados utilizando modelagem estatística e cálculo de probabilidades. Para isso, serão apresentados os conceitos de teste de hipóteses e intervalo de confiança.

A. Ressuprimento Aéreo e Tipos de Lançamentos

A ação de Força Aérea de Ressuprimento Aéreo consiste em uma operação aeroterrestre que visa o apoio logístico às tropas terrestres, ou civis de interesse, por meio de lançamentos aéreos de pessoal e/ou de carga.

Os lançamentos aéreos são classificados em dois tipos, de Pessoal e de Material. Levando em consideração o tema deste artigo, será dado ênfase apenas no tipo Material e nos métodos utilizados pelos esquadrões aéreos estudados, que são: fardo de porta, *container delivery system* (CDS) e pesado (HEAVY).

No método fardo de porta, segundo BRASIL (2014), o material a ser lançado é condicionado na forma de fardos padronizados e com o peso máximo de 500 libras, ou 226 quilos aproximadamente. No método CDS as cargas são acondicionadas em recipientes sobre plataformas para superfícies terrestres ou aquáticas. No método HEAVY a carga é acondicionada sobre plataformas especiais que são extraídas da aeronave por um paraquedas de extração. A vantagem deste método se dá pelo aproveitamento máximo da aeronave e pela maior capacidade na entrega logística.

A contabilização do resultado se dá por meio da medição da distância do centro da zona de lançamento até o ponto de aterragem da carga lançada e da posição, em horas, deste ponto de aterragem em relação ao eixo de lançamento.

B. Inferência sobre a média e teste de hipótese

Segundo Johnson (2007), inferência é uma parte da análise de dados que se baseia em alcançar conclusões válidas sobre uma população baseado nas informações de uma amostra. É possível realizar uma inferência estatística sobre a média de uma população com um certo nível de confiança e realizar testes de hipóteses para buscar a validação dessas afirmações.

De acordo com Johnson (2007), um teste de hipóteses pode ser utilizado para determinar se um valor específico μ_0 é um valor plausível para a média populacional μ por meio das hipóteses

$$H_0: \mu = \mu_0 \text{ e } H_1: \mu \neq \mu_0,$$

onde H_0 é a hipótese nula e H_1 é a hipótese alternativa. Se X_1, X_2, \dots, X_n é uma amostra de uma população normal, o teste estatístico apropriado é

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}, \quad (1)$$

onde \bar{X} é a média aritmética amostral e s é o desvio padrão amostral com um grau de liberdade.

Segundo Johnson (2007), este teste estatístico possui uma distribuição t de student com $n - 1$ graus de liberdade onde H_0 é rejeitada caso $|t|$ exceda uma porcentagem específica de uma distribuição t com $n - 1$ graus de liberdade.

Para eliminarmos a necessidade do módulo do valor t calculado, Johnson (2007) afirma que rejeitar H_0 quando $|t|$ extrapola certa porcentagem é o mesmo que rejeitar H_0 se o seu quadrado

$$t^2 = \frac{(\bar{X} - \mu_0)^2}{s^2/n} \quad (2)$$

assume um valor alto. A variável t^2 representa o quadrado da distância da média amostral para o valor testado para a média populacional e essa distância está expressa em termos do desvio padrão da amostra. Segundo Johnson (2007), uma vez que \bar{X} e s^2 são conhecidos, o teste rejeitará a H_0 , para um nível de significância α , caso

$$\frac{(\bar{X} - \mu_0)^2}{s^2/n} > t_{n-1}^2(\alpha/2), \quad (3)$$

onde t_{n-1}^2 representa a cauda superior do 100($\alpha/2$)º percentil de uma distribuição t com $n - 1$ graus de liberdade.

Não rejeitar a H_0 significa afirmar, com 100(1 - α)% de certeza, que μ está dentro do intervalo de confiança de μ_0 delimitado por:

$$\bar{x} - t_{n-1} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu_0 \leq \bar{x} + t_{n-1} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

em outras palavras, o intervalo de confiança consiste de todos aqueles valores plausíveis que não seriam rejeitados no teste de hipótese para um nível de significância α .

III. ANÁLISE MÉTRICA DE EFICIÊNCIA DAS MISSÕES DE RESSUPRIMENTO AÉREO

Os dados utilizados neste trabalho foram compilados a partir dos resultados dos lançamentos aéreos registrados pelos esquadrões que operam um mesmo vetor aéreo e realizam os mesmos métodos. De forma geral, para cada lançamento foram registrados os nomes dos tripulantes, o tipo de lançamento, peso da carga, a distância e a posição, em horas, do ponto de aterragem.

Adicionalmente foram coletados os relatórios de horas voadas dos tripulantes e essas horas foram adicionadas ao banco de dados.

Como não existe uma padronização dos registros de lançamento, não foi possível a coleta de todas as variáveis para todas as observações no banco de dados. No total foram coletadas informações de 264 lançamentos entre os anos de 2016 e 2020.

A. Distribuição das distâncias dos lançamentos

Da forma como é medida, a distância observada nos lançamentos aéreos assume apenas valores inteiros e que variam de 0 a 1000 metros. Do banco de dados criado, 3 desses

lançamentos foram registrados como “PANE”, retiradas estas observações restam 261 lançamentos para serem analisados. O histograma desses lançamentos está exposto na Figura 1 assim como a sua curva de densidade.

Podemos perceber, na Figura 1, que a maioria dos lançamentos caíram a uma distância inferior a 200 metros e, de fato, 191 dos 261 lançamentos (73%) estão nessa faixa de resultado, conforme a Tabela I.

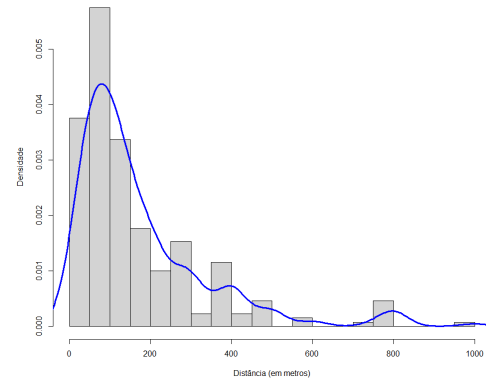


Fig. 1. Histograma das distâncias dos lançamentos aéreos

Tabela I: Quantidade e percentual por faixa de distância

Distância (m)	Qtd.	Percentual	Percentual Acumulado
0 a 100	124	47,51%	47,51%
101 a 200	67	25,67%	73,18%
201 a 300	33	12,64%	85,82%
301 a 400	18	6,90%	92,72%
401 a 600	11	4,21%	96,93%
800 a 1000	8	3,07%	100%

Podemos perceber a existência de observações extremas afastadas da massa de dados. Tais observações precisam ser analisadas para a verificação da sua validade no estudo. Esses resultados podem ter sido consequências de panes no lançamento, erros isolados ou uma característica específica do evento estudado. Foi plotado na Figura 2 o quanto cada observação se afasta da média, em relação ao desvio para verificar a existência de possíveis outliers.

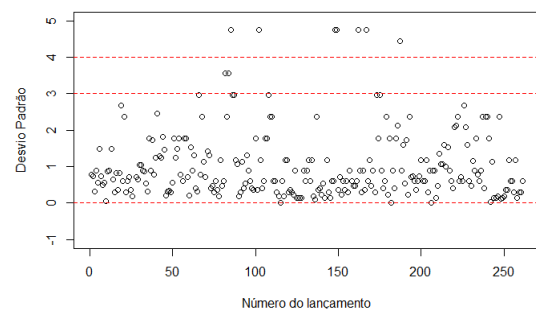


Fig. 2. Distribuição das distâncias em relação ao Desvio Padrão

Para a amostra, o desvio padrão é de 169 metros e aquelas observações que estão a mais de quatro desvios padrões não são casos isolados. Além disso, ao verificar os dados, é possível perceber a presença desses lançamentos com maior distância em todos os anos, como se isso fosse uma característica própria dos lançamentos e que em todos os anos há uma probabilidade de alguém “isolar” a carga mesmo que a chance seja pequena. O ideal é que sejam estudados os motivos causadores desse evento para que os esquadrões minimizem ao máximo este acontecimento.

Dito isso, o mais adequado seria não desconsiderar os valores extremos pois os mesmos ocorrem com uma certa periodicidade.

O próximo passo adotado foi a determinação de qual a distribuição estatística mais se adapta aos dados. Para testar a normalidade da distribuição foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov sendo que a hipótese nula é a de que as distâncias observadas são normalmente distribuídas e a hipótese alternativa afirmando o contrário. Utilizando o *software* RStudio para realizar o teste, rejeitamos a hipótese nula. Utilizando o gráfico de Cullen e Frey, presente na Figura 3, os dados observados estão dentro da faixa de uma distribuição beta.

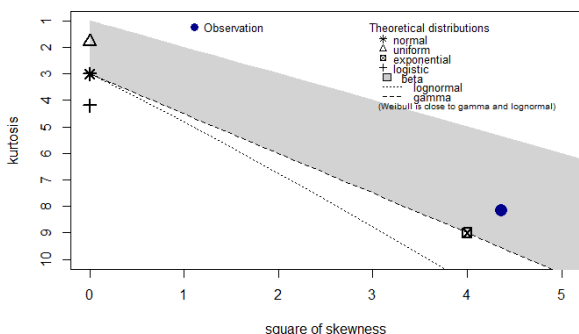


Fig. 3. Gráfico de Cullen e Frey para as distâncias

Poderiam ser realizados testes para verificar se, realmente, a distribuição beta seria a mais adequada para a situação, porém, caso os dados possuíssem uma distribuição normal, a obtenção dos intervalos de confiança e a inferência de dados futuros seriam facilitadas. Por isso foi realizada uma transformação nas distâncias observadas aplicando o logaritmo natural, mas como o zero é um resultado possível e o logaritmo natural de zero tende ao menos infinito, foi somado 10 a todos os dados observados. O histograma dos dados transformados e a sua respectiva linha de densidade estão presentes na Figura 4.

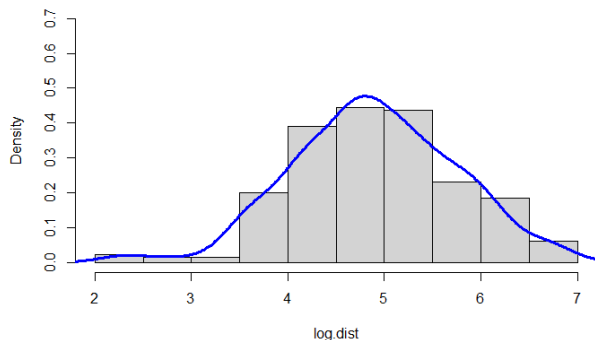


Fig. 4. Logaritmo das distâncias dos lançamentos para o alvo

Após a transformação, foi repetido o teste de Kolmogorov-Smirnov e o resultado agora obtido foi de que não podemos rejeitar a hipótese de que os dados transformados possuam uma distribuição normal. Ao utilizarmos o gráfico de Cullen e Frey, Figura 5, o ponto dos dados observados situa-se na marcação de uma distribuição normal.

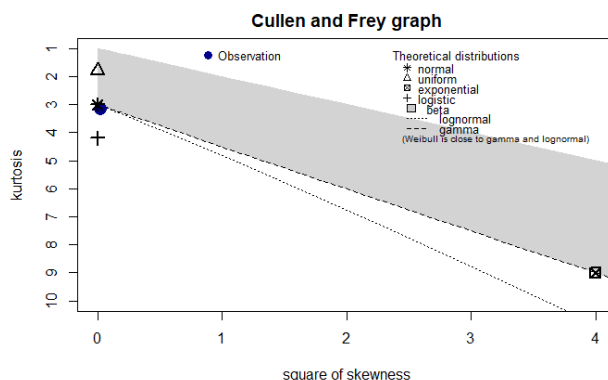


Fig. 5. Gráfico de Cullen e Frey para o logaritmo das distâncias

B. Intervalo de Confiança dos Lançamentos

Para um $IC = 95\%$, a área sob a curva normal padrão estará entre $-1,96$ e $1,96$, o número de amostras é de 261, a variância e média amostral, calculados no RStudio, são de respectivamente 0,8464 e 4,8889. Portanto, o limite inferior e o limite superior da média populacional são:

$$\left(\bar{X} - 1,96 \times \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{X} + 1,96 \times \frac{S}{\sqrt{n}} \right),$$

$$\left(4,8889 - 1,96 \times \frac{0,8464}{\sqrt{261}}, 4,8889 + 1,96 \times \frac{0,8464}{\sqrt{261}} \right),$$

$$(4,786256 , 4,991625).$$

Para que esses valores tenham um significado prático, é preciso convertê-los novamente para metros. Sabendo que

$$\log_e(\text{distância} + 10) = x \Leftrightarrow e^x = \text{distância} + 10$$

sendo que x assume os limites do Intervalo de Confiança, então os valores equivalentes em metros são:

$$(e^{4,786256} - 10 , e^{4,991625} - 10),$$

$$(109,8517 , 137,1755).$$

Com isso, pode-se afirmar com 95% de certeza que a média populacional dos lançamentos aéreos está entre 109,85 e 137,17 metros.

C. Probabilidade de sucesso dado as dimensões de uma ZL circular

Considerando que a distribuição estudada possui distribuição aproximadamente normal e que a área sob o gráfico de densidade da variável é igual a sua probabilidade, caso seja necessário estimar a probabilidade da carga atingir o solo dentro de um raio desejado, essa probabilidade será a área sob o gráfico de menos infinito até o valor correspondente no eixo x.

Para checar a validade das probabilidades obtidas nesse tópico, as 261 observações foram aleatoriamente divididas em dois bancos de dados, treino e teste, na proporção de 70% e 30% respectivamente.

Utilizando o banco de treino, foi tirado novamente o logaritmo das distâncias e feito o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov cujo resultado foi o de que não podemos rejeitar a hipótese nula de que os dados possuam uma distribuição normal. Ou seja, a partição não prejudicou a normalidade da distribuição.

Em seguida foi calculado a probabilidade da carga cair dentro de um raio de 200 metros do centro da Zona de Lançamento (ZL). Essa probabilidade será a área sob o gráfico do valor correspondente de 0 metro até 200 metros. Lembrando que

$$\ln(0 + 10) = 2,302585,$$

$$\ln(200 + 10) = 5,347108.$$

A Figura 6 mostra o histograma do logaritmo das distâncias, uma curva normal sobre o histograma e a área sombreada corresponde a probabilidade da carga dentro do raio de 200 metros. Utilizando o *software* RStudio obtemos que essa probabilidade é de aproximadamente 70%.

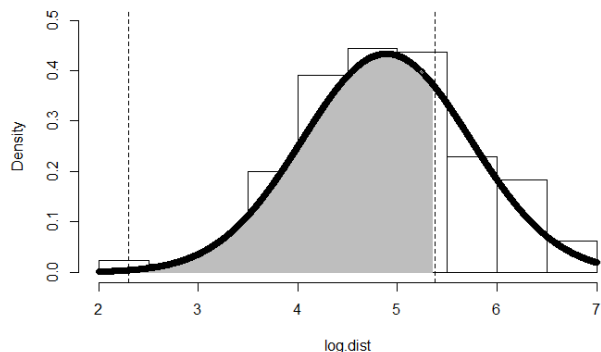


Fig. 6. Área correspondente a probabilidade da carga cair dentro de 200 m de raio

Para calcular as probabilidades da carga cair dentro de raios de 400 e 50 metros, respectivamente, o mesmo raciocínio foi utilizado.

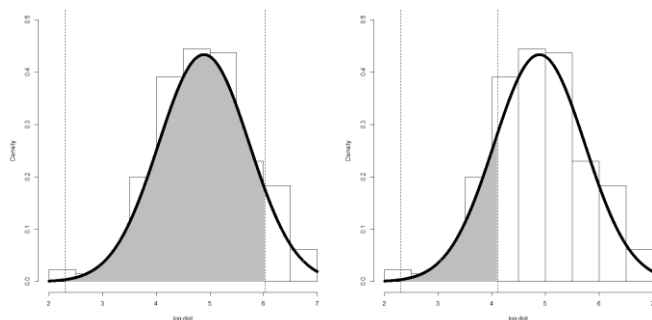


Fig. 7. Área correspondente a probabilidade da carga cair dentro de 400 m e 50 m de raio

Utilizando o *software* RStudio obtemos que a probabilidade da carga cair dentro de um raio de 400 metros é de aproximadamente 91% e a probabilidade para um raio de 50 metros é de aproximadamente 17%.

Calculadas as probabilidades, foi feita a checagem com o banco de teste para verificar a comprovação, ou não, das porcentagens. Enquanto no banco de treino foi calculada a probabilidade de acerto por meio da área sob a curva, no banco de teste foi calculado a proporção das observações que realmente estão abaixo da meta estipulada. O resultado encontra-se na Tabela II.

Tabela II: Avaliação das probabilidades dado o raio da ZL

Raio	Probabilidade calculada a partir do banco de treino	Proporção observada no banco de teste
400 metros	90,98%	94,73%
200 metros	70,69%	75,00%
50 metros	17,05%	18,42%

Comparando os valores na Tabela II percebemos que as probabilidades são aproximadas, o que pode comprovar que o método e os resultados são válidos. O lado positivo desse método é a facilidade do cálculo da probabilidade e a facilidade de interpretação do resultado por parte do decisor.

D. Plotagem da distância em um eixo cartesiano

Para ZL com dimensões restritas, poderá existir a impossibilidade de analisar a probabilidade de sucesso do lançamento baseando-se apenas no raio de impacto da carga máximo desejado, por causa de diferenças no comprimento e largura da ZL. Além disso, o Manual de Doutrina da Aviação de Transporte prevê que a ZL no lançamento de carga será quadrada com as laterais medindo 400 metros.

Para calcular a probabilidade de sucesso em uma ZL retangular foi necessário decompor a distância em um eixo cartesiano. As variáveis disponíveis no banco de dados para isso foram a distância e a posição do impacto em horas. Foi multiplicado a hora por 30°, dessa forma é calculado o ângulo em relação ao eixo de lançamento. Em seguida multiplicou-se a distância pelo seno e pelo o cosseno do ângulo para obter, respectivamente, as componentes no eixo x e y, o resultado encontra-se na Figura 8.

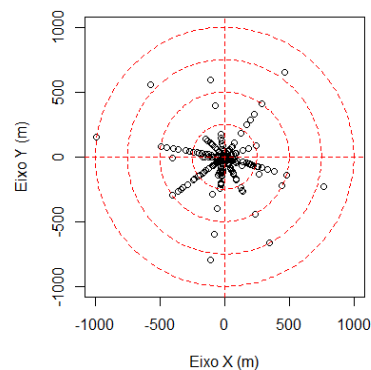


Fig. 8. Distâncias no eixo cartesiano

Para cada distância, foram geradas duas variáveis, uma no eixo X e outra no eixo Y. O histograma e a linha de densidade dessas variáveis encontram-se na Figura 9.

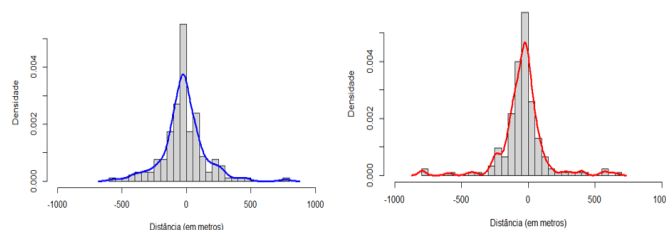


Fig. 9. Histograma da variável do eixo X

Apesar dos dados aparentados possuírem uma curva na forma de sino, ao realizar o teste de Kolmogorov-Smirnov, a hipótese nula de que a distribuição tem uma distribuição normal é rejeitada, provavelmente pela concentração acentuada de observações próximas ao topo da curva de densidade. Foi calculado o valor absoluto de cada variável, Figura 10, dessa forma as suas distribuições se assemelharam ao histograma das distâncias (raio) na Figura 1.

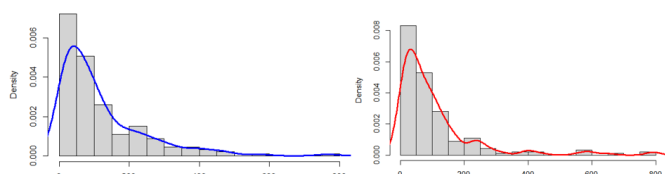


Fig. 10. Histograma do valor absoluto das variáveis do eixo X e Y

O próximo passo foi calcular o logaritmo natural das distâncias de cada eixo adicionadas de 10 unidades, da mesma forma como foi realizado anteriormente. O resultado encontra-se na Figura 11.

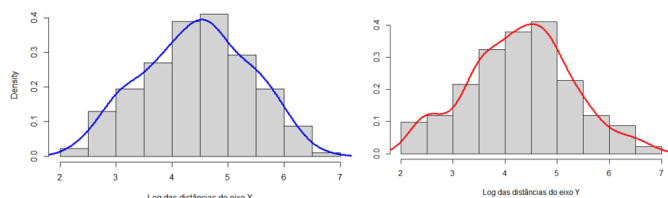


Fig. 11. Logaritmo das distâncias do eixo X e Y

Foi realizado o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e o resultado foi que não se pode rejeitar a hipótese de que os dados possuam uma distribuição normal.

E. Probabilidade de sucesso dado as dimensões de uma ZL retangular

Por se tratar de duas variáveis respostas, é necessário testar se as mesmas são independentes entre si, principalmente quando o interesse é calcular a probabilidade de um evento que as envolvam. Com esse propósito, foi realizado o teste de Chi-Quadrado com a hipótese nula de que as variáveis são independentes entre si e a hipótese alternativa afirmando o contrário. Como resultado, foi obtido que não podemos rejeitar a hipótese nula.

Como as distâncias no eixo X e Y são independentes entre si, sabemos que um dado observado na variável X não interferirá na observação da variável Y, ou seja:

$$P(Y = y) \cap (X = x) = P(Y = y) \times P(X = x).$$

A probabilidade da carga cair dentro de uma ZL de comprimento y e de largura x é igual ao produto de cada probabilidade isolada. O raciocínio para encontrar a probabilidade de cada eixo é similar ao utilizado no caso da ZL circular onde é calculado a área sob a curva normal da variável de interesse.

Foi calculado a probabilidade da carga cair dentro de uma ZL que possua dimensões padrões, 400 metros de comprimento por 400 metros de largura, ou seja, limitadas por X e Y de -200 metros a 200 metros. Essa probabilidade será dada por:

$$P(|Y| \leq 200) \times P(|X| \leq 200).$$

Realizando a transformação das distâncias em metros, o valor transformado será:

$$\begin{aligned} \ln(0 + 10) &= 2,302585, \\ \ln(200 + 10) &= 5,347108. \end{aligned}$$

A Figura 12 apresenta os histogramas das variáveis do eixo X e Y, as suas respectivas curvas normais e a área sombreada cujo limite inferior é equivalente a 0 e o limite superior equivale a 200 metros.

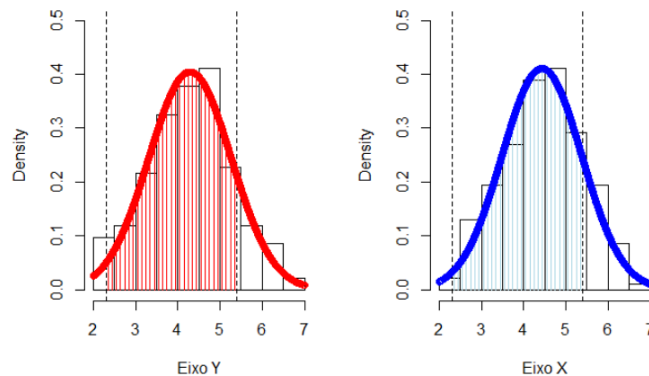


Fig. 12. Área correspondente a probabilidade da carga cair dentro de 400 por 400 m

Foi utilizado o *software* RStudio para calcular as áreas representadas na Figura 12, o resultado encontrado foi:

$$\begin{aligned} P(|Y| \leq 200) &= P(2,302585 \leq \ln(Y + 10) \leq 5,347108) \\ &= 0,8411387 \cong 84,11\%, \\ P(|X| \leq 200) &= P(2,302585 \leq \ln(X + 10) \leq 5,347108) \\ &= 0,8218499 \cong 82,18\%, \\ P(|Y| \leq 200) \times P(|X| \leq 200) &= 0,6912898 \cong 69,12\%. \end{aligned}$$

Nas condições atuais, os esquadrões aéreos estudados neste trabalho possuem a probabilidade de aproximadamente 69% de cumprir as missões de lançamento aéreo conforme padroniza o Manual de Doutrina da Aviação de Transporte com uma Zona de Lançamento medindo 400 metros de comprimento por 400 metros de largura.

Utilizando o mesmo método, é possível calcular a probabilidade de sucesso para qualquer dimensão de ZL. Visando analisar a capacidade operacional dos esquadrões nos lançamentos em ZL restritas, foi calculado a probabilidade de sucesso para a área de 200m×100m e para a área de 100m×100m.

Calculadas as probabilidades, foi feita a checagem com o banco de teste para verificar a comprovação, ou não, das porcentagens. O resultado encontra-se na Tabela III.

Tabela III: Avaliação das probabilidades dado as dimensões da ZL

Área da ZL	Probabilidade calculada a partir do banco de treino	Proporção observada no banco de teste
400 x 400	69,58%	75,82%
200 x 100	23,08%	30,97%
100 x 100	14,44%	21,47%

Os valores da probabilidade e da proporção observada, presente da Tabela III, apresentam uma diferença que varia de 6 a 9%. Como essa diferença é praticamente uma constante, sendo que a proporção observada apresentou um valor maior que a probabilidade calculada para todas as três áreas, é possível realizar uma calibração no método de cálculo de probabilidade para que a diferença seja menor.

Essa calibração no método se deu por meio da soma de uma constante *c* nos limites superiores das variáveis

transformadas para o cálculo da área sob a curva normal. Dos valores testados, o melhor resultado foi obtido para $c = 0,18$.

Refazendo todos os cálculos de probabilidade após a calibração do método, a diferença dos valores da probabilidade calculada e da proporção observada passou a estar entre 0,36% e 0,9%. Dessa forma, o método de cálculo da probabilidade de sucesso de uma missão de ressuprimento aéreo para uma dada dimensão da ZL, criado neste trabalho, é válido e entregou resultados próximos aos observados no banco de teste. Vale ressaltar que essa probabilidade pode ser calculada para qualquer dimensão de ZL desejada.

IV. INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NO RESULTADO

Nas missões de ressuprimento aéreo, cada tripulante possui a sua função específica no voo. De forma resumida o navegador é responsável pelo cálculo da trajetória da carga e do momento exato do seu lançamento, o 1P (piloto que ocupa a cadeira da esquerda da cabine da aeronave) pela manutenção dos parâmetros de voo, o 2P (piloto que ocupa a cadeira da direita) é o responsável pelo cálculo do tempo da navegação, pelo comandamento dos cheques e advertências relacionados ao lançamento, o load-master fica responsável pelo manuseio da carga.

A identificação das variáveis que influenciam, ou não, no resultado é fundamental para que o esquadrão possa concentrar esforços para alcançar um aperfeiçoamento contínuo.

A. EVOLUÇÃO DO NAVEGADOR AO LONGO DOS ANOS

Nesse método a hipótese adotada é a de que quanto mais lançamentos um navegador realizar, melhor será o seu lançamento.

Cada navegador iniciará com a pontuação zerada, a medida que realize uma missão de lançamento na função de navegador, este navegador ganhará um ponto. Por fim, a pontuação dos navegadores será relacionada com a distância conforme a Figura 13.

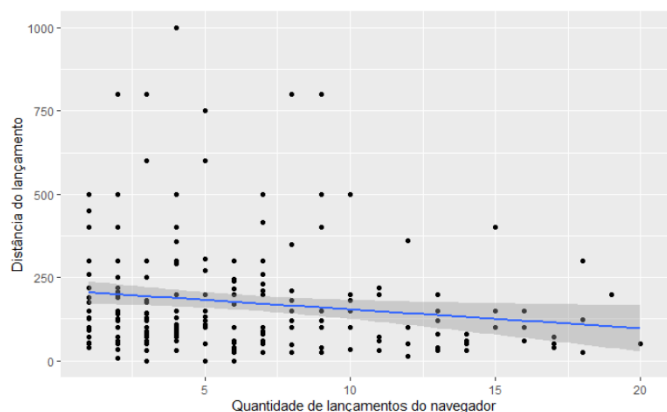


Fig. 13. Evolução do Navegador ao longo dos anos

Verificou-se que a covariância do número de lançamentos do navegador e a distância é de $-0,16$. Ao se criar o modelo de regressão linear, observa-se que o número de lançamentos é responsável pela explicação de apenas 2,5% da variação da variável resposta, ou seja, o modelo não está adequado.

No entanto, ao selecionarmos apenas os valores máximos de cada quantidade de lançamentos, conforme Figura 14, podemos perceber um padrão. A correlação entre essas duas variáveis é de $-0,778$. No modelo de regressão criado, o

número de lançamentos é significativo e o coeficiente de determinação é de 0,6053. Um aumento considerável em comparação com o modelo anterior, o que nos leva a acreditar que, quanto mais lançamentos um navegador realizar, a distância máxima de seus lançamentos tenderá a ser menor.

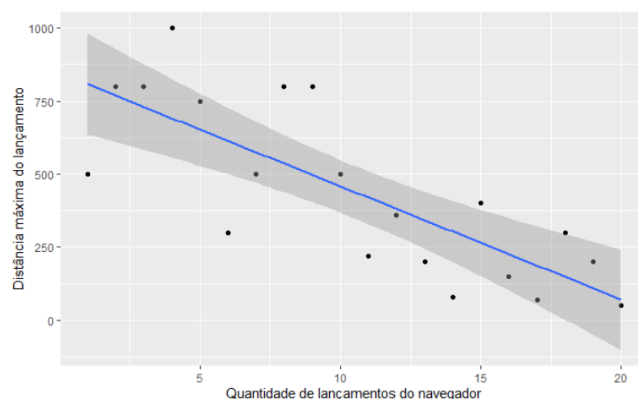


Figura 14: Distância máxima X Quantidade de lançamentos do navegador.

V. OBSERVAÇÕES FINAIS

Este estudo se propôs a analisar as métricas de eficiência das missões operacionais de ressuprimento aéreo dos esquadrões aéreos analisados. Para isso, foram coletados resultados de lançamentos aéreos do ano de 2016 a 2020. Ressalta-se que atualmente não há uma padronização para o registro dos lançamentos e que o processo de armazenamento desses registros pode ser melhorado.

A criação de um banco de dados com essa informação pode servir ao esquadrão como uma ferramenta estatística para acompanhamento da sua capacidade operacional, análise de desempenho e, possivelmente, identificação de variáveis que influenciam, ou não, no resultado final.

A análise das distâncias dos lançamentos aéreos proporcionou o cálculo da probabilidade de sucesso da missão dado as dimensões da Zona de Lançamento.

O único relacionamento encontrado neste estudo foi entre a quantidade de lançamentos do navegador e a distância máxima do seu lançamento. Apesar das demais correlações serem consideradas fracas, não é plausível concluir que essas variáveis não contribuam para aperfeiçoamento operacional. Condições externas podem influenciar nesta baixa correlação. O baixo número de missões de ressuprimento realizadas durante um ano e a concentração destas em um único mês podem contribuir para a não consolidação da experiência por parte das tripulações.

REFERÊNCIAS

- [1] R. A. Johnson, D. W. Wichern, "Applied multivariate statistical analysis", New Jersey, Englewoodcliffs, 6th ed., 2007.
- [2] J.L. Devore, "Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências", Cengage Learning, 9a. ed, 2014.
- [3] W. Mendenhal, T. Sincich, "A second course in statistics: regression analysis", Boston: Pearson, 7ª. ed., 2012.
- [4] BRASIL. Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira DCA 1-1. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. 2020.
- [5] BRASIL. Doutrina de Preparo e Emprego da Aviação de Transporte MCA 55-20. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. 2014.
- [6] BRASIL. Política Nacional de Defesa. Governo Federal. Ministério da Defesa. 2020.