

Análise estatística das Missões de Busca por aeronaves desaparecidas: construção de áreas de probabilidade

Fernando Afonso Fabian¹, Filipe Rodrigues de Souza Moreira¹ e Thales Vilas Bôas Araújo¹

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

Resumo – As Missões de Busca e Salvamento são tarefas realizadas sempre em momentos de crise, pois comumente advêm decorrentes de um acidente aéreo. Sendo assim, a determinação da área de busca se torna difícil em muitos casos, devido à dificuldade de estabelecer a *Last Known Position* (LKP). Também existem outros fatores que prejudicam o planejamento, como o relevo da região, a distância do ponto de apoio das equipes para o local da busca e a densidade da cobertura vegetal, dificultando assim o trabalho das equipes. Logo, são necessárias ferramentas que auxiliem o planejamento das Missões de Busca (MBU), para que assim seja possível encontrar a aeronave desaparecida. Logo, esse trabalho buscou elaborar áreas de probabilidade, com os dados estatísticos das missões que lograram êxito no passado, por meio da construção de intervalos de previsão com o apoio da simulação *Bootstrap*. Portanto, esse trabalho gerou informações para nortear o planejamento das MBU.

Palavras-Chave – Missão de Busca, *Last Known Position*, Intervalo de previsão.

I. INTRODUÇÃO

O Brasil se comprometeu a proporcionar todo auxílio possível as aeronaves que se achem em perigo em seu território por meio do decreto presidencial nº 21.713 de 27 de agosto de 1946, no qual ele promulgou a Convenção sobre a Aviação Civil Internacional concluída em Chicago no dia 7 de dezembro de 1944, que tratou sobre a regulamentação da atividade aérea e salvaguarda das vítimas de acidentes aéreos.

A responsabilidade sobre a coordenação das Missões de Busca, Assistência e Salvamento foi atribuída ao então, na época, Ministério da Aeronáutica pelo Art. 12, item VI da lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986, a qual dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. Vale destacar também que no Art. 1º da referida lei o Estado Brasileiro coloca o Direito Aeronáutico regulado também pelos Tratados, Convenções e Atos Internacionais aos quais o Brasil faça parte, oficializando o acordo firmado na Convenção da Aviação Civil Internacional de 1944 como embasamento legal para a atividade de Busca e Salvamento.

Sendo assim pelo decreto nº 6.834, de 30 de abril de 2009, o Departamento de Controle e Espaço Aéreo (DECEA) da Força Aérea Brasileira (FAB) foi eleito como o órgão responsável pelo planejamento, gerenciamento e coordenação do Serviço de Busca e Salvamento.

Portanto, para conseguir atuar com eficiência perante os compromissos firmados pelo Estado, é necessário não somente a disponibilização das *Search and Rescue Units* (SRU), que são os meios executores de busca e resgate, os quais para a FAB são normalmente as aeronaves e a tripulação adestrada

para o cumprimento da missão, mas também toda uma estrutura de coordenação e de planejamento de missões para que os recursos sejam empregados de forma eficiente, para assim alcançar o objetivo, que é trazer de volta em segurança as vítimas de acidentes aéreos.

Com o recebimento da informação de uma aeronave em perigo ou desaparecida, o centro de coordenação já começa a atuar realizando os contatos necessários para levantar todas as informações possíveis que possam auxiliar nas buscas pela aeronave desaparecida.

O *Search and Rescue Mission Coordinator* (SMC) é a pessoa responsável pelo planejamento da Missão de Busca (MBU), ou seja, por tomar as decisões a respeito de como ela será executada pelas SRU, sejam elas aeronaves, embarcações, veículos ou pessoal de terra, sendo que em diversos casos existem poucas informações para elaborar seu plano de ação.

A *Last Known Position* (LKP), é a principal informação para iniciar o planejamento de uma MBU, visto que, quanto maior sua precisão maior a probabilidade de encontrar, pois ela é a última posição conhecida da aeronave, e a partir dela é designada a área de busca. Porém, devido ao fato de nem todas as aeronaves possuírem bons equipamentos de navegação, comunicação, radiobalizas de emergência ou pelo local de desaparecimento muitas vezes não ser provido de cobertura radar, a determinação dessa posição se torna difícil em muitos casos.

Outros fatores também prejudicam o planejamento do SMC, como o relevo da região do desaparecimento, a distância do ponto de apoio das equipes para o local da busca e a densidade da cobertura vegetal, dificultando assim o trabalho das equipes. Logo, são necessárias ferramentas que auxiliem o planejamento das Missões de Busca (MBU), para que assim seja possível encontrar a aeronave desaparecida.

Pensando no apoio ao planejamento das MBU, esse trabalho busca por meio da construção de áreas de probabilidade, baseadas na análise dos dados das missões realizadas que lograram êxito, auxiliar o SMC na sua tomada de decisão a respeito da designação das áreas de busca.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Definindo a área de busca

Um dos itens mais relevantes para o planejamento de uma Missão de Busca é determinar o melhor local para se iniciarem as buscas, para isso algumas etapas são seguidas. O IAMSAR, que é o Manual Internacional de Busca e Salvamento Aeronáutico e Marítimo, elaborado pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) e Organização Marítima Internacional (OMI), determina que para se definir o local de busca, inicia-se delimitando a área na qual possam existir sobreviventes, sendo ela um círculo centrado na LKP, com o

raio igual a autonomia restante da aeronave nesse ponto. Como essa área comumente é muito grande, é necessário realizar a redução dessa área para que a busca seja viável, a qual é realizada pelo levantamento de informações sobre o tipo de voo da aeronave, levando em consideração a direção de deslocamento da aeronave, seu destino e alternativa, além de informações sobre as características da região onde a aeronave foi considerada desaparecida.

No Brasil foi determinado que a área designada a serem efetuadas as buscas é chamada de Área de Probabilidade Genérica (APG). Ela é formada por um polígono, iniciado a 10 NM atrás da LKP, estendendo-se a até 10 NM após o destino da aeronave e abrindo um espaçamento lateral de 10 NM, tendo como eixo a rota entre a LKP e o destino da aeronave, conforme a figura 1.

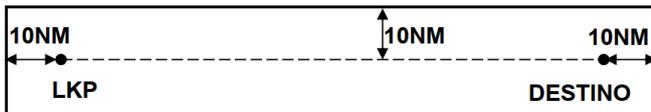


Fig. 1. Área de Probabilidade Genérica (APG).

B. Definindo a LKP

Para se estimar a localização de uma aeronave acidentada se deve primeiro definir a LKP, para determinar essa posição são utilizadas as coordenadas provenientes de uma recepção de localização feita por visualização radar, um sinal de radiobaliza do Sistema Cosmicheskaya Sistyema Poiska Avariynich Sudov – Search and Rescue Satellite-Aided Tracking (COSPAS-SARSAT), ou por último, o contato rádio da aeronave com a última posição reportada [2]. A LKP também pode ser definida por outras informações caso nenhuma das fontes anteriormente citadas estejam disponíveis, como por exemplo, a informação de um pouso técnico em uma fazenda no meio da rota, contato do piloto com o explorador da aeronave por meio de telefone celular durante o voo, sinal de SPOT, que é um aparelho de localização via satélite. Caso não se tenha nenhuma informação relevante, a LKP é considerada como o aeródromo de decolagem.

Obtendo-se uma dessas informações se utiliza sempre a mais atual e que possui maior grau de precisão e confiabilidade, de acordo com o julgamento do SMC, seguindo normalmente a seguinte priorização: radiobaliza do Sistema COSPAS-SARSAT, visualização radar, contato rádio, e por último alguma informação genérica ou o aeródromo de decolagem.

C. Probability of Containment

A probabilidade do objeto que está sendo procurado estar dentro da área de busca é denominada *Probability of Containment* (POC), em português conhecida como probabilidade de estar contido, sendo então essa área definida dentro da comunidade SAR como a probabilidade de uma área geográfica conter o objeto de busca [5]. O objeto de estudo principal desse trabalho é aumentar a POC, por meio da determinação de quais são as áreas com a maior probabilidade

de estar contida a aeronave desaparecida, sendo então possível direcionar as buscas para esses locais.

D. Probability of Detection

A probabilidade do objeto que está sendo procurado ser visualizado durante a realização da busca é denominada *Probability of Detection* (POD), em português conhecida como probabilidade de detecção [5].

E. Probability of Success

$$\sum POS = \sum (POD * POC) \quad (1)$$

A *Probability of Success* (POS), em português denominada como probabilidade de sucesso, é dada em função do produto entre a POC e a POD (1) [5], resultando na probabilidade da missão de busca encontrar o objeto que está sendo procurado, ela tem a influência tanto da POD quanto da POC, pois o objeto além de ter que estar contido na área que está sendo realizada a busca, ele também tem que ser avistado, pois caso contrário não será encontrado.

III. DADOS

Os dados foram coletados juntamente a Divisão SAR, subordinada a Divisão Operacional do DECEA, a qual disponibilizou os relatórios das Missões de Busca que foram realizadas entre os anos de 2006 e 2021, pois as informações dos anos anteriores não possuíam um bom grau de confiabilidade conforme relatado pela mesma Divisão.

Visto que este trabalho busca auxiliar o SMC no planejamento de uma MBU sobre a terra, foi necessária a utilização dos dados de localização da aeronave desaparecida, logo, os relatórios das missões que não resultaram na localização do objeto de busca foram descartados.

Durante a organização dos dados foi verificado que muitas informações importantes para esta pesquisa não estavam inseridas nos relatórios, ou com dados incoerentes ou mal definidos. Alguns exemplos possíveis de serem citados: LKP mal definida, com 2 coordenadas distintas, uma inserida no resumo do relatório e outra no corpo do texto, locais de destino sem coordenadas, somente com o nome genérico, como por exemplo: “GARIMPO CUXARÉ”, além da falta dos dados de autonomia e velocidade da aeronave. Devido as diversas limitações apresentadas, algumas Missões de Busca mesmo obtendo o avistamento da aeronave desaparecida foram descartadas do levantamento devido à falta de confiabilidade nos dados. Após o filtro inicial, 87 Missões de Busca foram consideradas válidas para análise.

IV. METODOLOGIA

A. Tratamento inicial dos dados

Os relatórios forneceram os dados de localização da LKP, avistamento do objeto de busca e do destino, porém para que fosse possível realizar a análise em termos de localização dentro da APG foi necessário realizar inicialmente os cálculos

de distância da LKP para o avistamento e da LKP para o destino, os quais foram feitos utilizando a linguagem de programação R, por meio da biblioteca “geosphere”, com a função “distGeo”, e também foi possível realizar o cálculo dos rumos com a mesma biblioteca, porém com a função “bearing”, e com isso foi possível determinar a distância do avistamento para a rota (eixo Y), por meio do seno do ângulo entre a linha que traça a distância da LKP para o avistamento e a linha da distância da LKP para o destino, e, também a distância da LKP para o través do local onde a aeronave desaparecida foi encontrada (eixo X), usando neste último o cosseno do ângulo formado.

Inicialmente foi confeccionado um gráfico de dispersão, conforme a figura 2, para verificar a posição dos locais de avistamento em relação à LKP, essa última estabelecida no par ordenado (0,0).

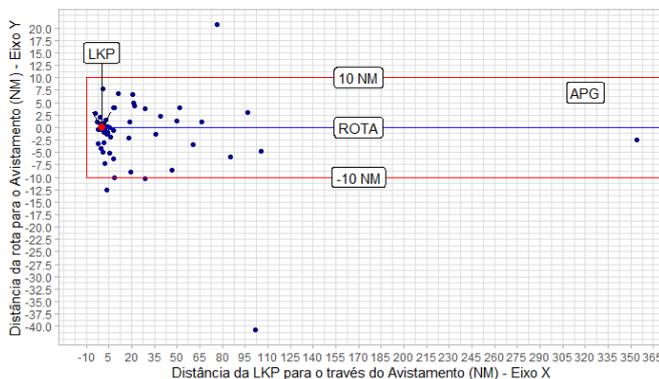


Fig. 2. Dispersão dos locais de avistamento em relação a LKP.

Sendo assim foram encontradas 5 aeronaves não contidas na APG, das quais 3 foram excluídas da análise. A 1ª exclusão foi do PR-HSM que estava a 40.65 NM de distância lateral em relação a perpendicular de sua rota, visto que a APG vai até 10 NM de distância lateral, analisando o relatório do caso não foi possível encontrar motivos para um desvio tão grande da aeronave da rota, além do fato de que a aeronave acidentada foi encontrada dentro de um rio, com diversas de suas partes espalhadas ao longo das margens.

A 2ª exclusão foi do PT-NKU que estava a 20.64 NM de distância lateral em relação a sua rota, analisando o relatório do caso de maneira detalhada foram verificados indícios de que o piloto estava desviando propositalmente da rota original sem informar aos órgãos de controle, pois queria evitar a passagem sobre a terminal Belo Horizonte, realizando então o contorno da referida área controlada. A 3ª exclusão foi do FAB5904 que estava a 12.48 NM de distância lateral em relação a sua rota, analisando o relatório do caso foi verificado que a aeronave estava em aproximação final para pouso e não conseguiu alcançar referências visuais, optando então por realizar um pouso forçado em um campo próximo. As outras 2 aeronaves que estavam foram da APG se encontravam respectivamente a 10.02 NM da rota, e outra a 10.21 NM da rota, devido as imprecisões da obtenção das coordenadas e pelos próprios erros de equipamento, essas 2 coordenadas foram consideradas como dentro da APG, no limite de 10 NM.

A 4ª exclusão foi do PT-NBE que estava a 354.30 NM de distância da LKP, o que configurou grande discrepância entre as demais observações. Logo, foi realizada a análise de 83 Missões de Busca.

B. Análise exploratória dos dados

Após realizado o tratamento inicial dos dados, eles foram divididos em 3 grupos de acordo com o modo que foi definida a LKP, e então foi feita a análise descritiva de cada grupo, os quais foram: informação confiável (39 observações, contento as LKP definidas por visualização radar e contato rádio), informação não confiável (29 observações, contento as LKP definidas de forma genérica), e o 3º grupo sendo as LKP definidas pela radiobaliza do Sistema COSPAS-SARSAT (15 observações).

Após a divisão dos grupos foi feita a análise exploratória dos dados das amostras das LKP definidas por informação confiável e informação não confiável nos eixos Y e X, sendo que no eixo Y os dados foram considerados somente como distância, não determinando se estavam à direita ou esquerda da rota, visto que não se pode afirmar a tendência futura de algum dos lados da APG possuir um intervalo diferente do outro, por isso foram considerados iguais, e para isso todos os valores foram transformados para positivo. No eixo X os valores não foram transformados para positivo, tornando possível a visualização de observações também antes da LKP.

Conforme foi verificado na análise exploratória, nenhuma das amostras aderiu a uma distribuição paramétrica conhecida, sendo investigadas por meio do Gráfico de Cullen e Frey, e testadas as hipóteses para as distribuições normal, beta e gamma. Primeiramente para a distribuição normal foram rejeitadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para um intervalo de confiança de 95%, e, quando não rejeitadas por esse teste, foram submetidas ao teste de Shapiro-Wilk, o qual rejeitou a hipótese de distribuição normal para o mesmo intervalo de confiança, sendo considerado o resultado desse último, visto que o teste de Shapiro-Wilk é mais confiável para amostras pequenas, em seguida foram testadas as distribuições beta e gamma, sendo também rejeitadas para o mesmo intervalo de confiança.

Para as LKP definidas pela radiobaliza do Sistema COSPAS-SARSAT a análise exploratória se baseou na verificação da distribuição das distâncias entre a LKP e o avistamento, visto ser uma forma de definição bem mais precisa que as demais, para isso foram adotados os mesmos métodos de análise de distribuição, sendo rejeitadas as hipóteses para as distribuições normal, beta e gamma para um intervalo de confiança de 95%.

Sendo assim, foi necessário utilizar métodos de análise que não fossem obrigatoriamente dependentes da associação a uma determinada forma de distribuição, para permitir a construção dos intervalos de previsão propostos, os quais foram elaborados utilizando a simulação *Bootstrap* não paramétrica [7].

C. Construção dos intervalos de previsão

Como o trabalho tem o objetivo de definir os intervalos de previsão para a localização do próximo avistamento de uma MBU, gerando assim áreas de probabilidade, foi necessário utilizar técnicas estatísticas com o apoio da linguagem R. Foi definida a variável aleatória Y para a distância da rota até o avistamento, e a variável X como a distância do LKP até o através do local de avistamento, a explicação do raciocínio será feita somente com a variável X , pois para Y será utilizada a mesma metodologia, com uma pequena modificação que será apontada.

Como não é possível conhecer os parâmetros populacionais de X , o melhor estimador é a média amostral \bar{X} . Sendo assim, é necessário estimar o erro entre o valor da próxima observação X_{n+1} , que se deseja prever, e \bar{X} , dado por $\theta = X_{n+1} - \bar{X}$, onde n é o tamanho da amostra. Portanto, para conseguir realizar essa estimativa, primeiro é necessário obter o valor esperado (2) e a variância de θ (3) [11]:

$$E[\theta] = E[X_{n+1} - \bar{X}] = \mu_X - \mu_X = 0 \quad (2)$$

$$Var(\theta) = Var(X_{n+1} - \bar{X}) = \sigma_X^2 \left(1 + \frac{1}{n}\right) \quad (3)$$

Conhecendo isso, é possível obter a variável W para a construção do intervalo de previsão (4), visto não ser conhecido o parâmetro populacional σ_θ , será utilizado S_θ :

$$W = \frac{\theta - E[\theta]}{S_\theta} = \frac{(X_{n+1} - \bar{X}) - (0)}{\sqrt{S_X^2 \left(1 + \frac{1}{n}\right)}} = \frac{(X_{n+1} - \bar{X})}{S_X \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)}} \quad (4)$$

Devido ao desconhecimento da distribuição dos parâmetros, e tão pouco a de W , foi utilizada a simulação *Bootstrap* não paramétrica para solução do problema [7]. Sendo assim foram feitas 100000 reamostragens da amostra original, e em cada reamostragem foi feito o cálculo de \bar{X} e S_X (desvio padrão da amostra), bem como foi selecionado um valor aleatório para representar X_{n+1} , logo foi possível calcular o valor de W 100000 vezes, os quais foram ordenados para retirar os quantis inferiores e superiores desejados, representados respectivamente por W_{qinf} e W_{qsup} .

Desta forma, foi possível calcular o limite inferior, L_{inf} (5), e o limite superior, L_{sup} (6), onde \bar{X} e S_X são da amostra original:

$$L_{inf} = \bar{X} + (W_{qinf}) S_X \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \quad (5)$$

$$L_{sup} = \bar{X} + (W_{qsup}) S_X \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \quad (6)$$

Realizados então os cálculos do intervalo de previsão para a variável X , repete-se o procedimento para a variável Y , com a ressalva de que serão construídos intervalos de previsão assimétricos, sendo assim só será calculado o L_{sup} , visto que o L_{inf} será 0.

Para a construção dos intervalos de previsão da LKP definida pela radiobaliza do Sistema COSPAS-SARSAT será adotado o mesmo procedimento realizado com a variável Y .

V. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A. Intervalos de previsão para LKP definida por informação confiável

Foram obtidos os seguintes valores de média e desvio padrão para o eixo Y , respectivamente: 2.091 NM e 2.951 NM, gerando-se então os seguintes resultados para o limite superior, conforme a tabela I.

TABELA I. NÍVEL DE CONFIANÇA PARA PREVISÃO - EIXO Y - INFORMAÇÃO CONFIÁVEL

Nível de confiança para previsão	Limite superior (NM)
99%	11.03
95%	8.88
90%	7.12
80%	3.92
70%	2.27
60%	1.23
50%	0.75

Para o eixo X , foram obtidos os seguintes valores de média e desvio padrão, respectivamente: 10.709 NM e 21.284 NM, gerando os seguintes resultados conforme a tabela II.

TABELA II. INTERVALO DE PREVISÃO - EIXO X - INFORMAÇÃO CONFIÁVEL

Intervalo de previsão	Limite inferior (NM)	Limite superior (NM)
99%	-5.47	101.17
95%	-3.67	78.23
90%	-2.83	62.58
80%	-1.92	38.88
70%	-1.29	25.68
60%	-0.78	15.99
50%	-0.33	9.29

Logo com os resultados obtidos foi possível construir a área de probabilidade ilustrada pela figura 3.

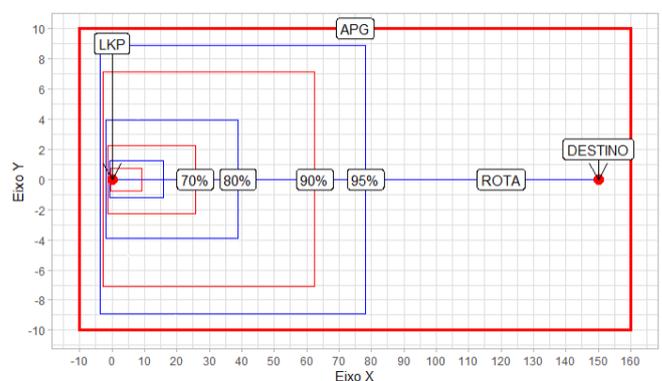


Fig. 3. Área de probabilidade – Informação confiável.

B. Intervalos de previsão para LKP definida por informação não confiável

Foram obtidos os seguintes valores de média e desvio padrão para o eixo Y, respectivamente: 2.790 NM e 2.575 NM, gerando-se então os seguintes de resultados para o limite superior, conforme a tabela III.

TABELA III. NÍVEL DE CONFIANÇA PARA PREVISÃO - EIXO Y - INFORMAÇÃO NÃO CONFIÁVEL

Nível de confiança para previsão	Limite superior (NM)
99%	8.69
95%	7.36
90%	6.43
80%	5.23
70%	4.33
60%	3.40
50%	2.07

Para o eixo X foram obtidos os seguintes valores de média e desvio padrão, respectivamente: 16.763 NM e 27.281 NM, gerando os resultados conforme a tabela IV.

TABELA IV. INTERVALO DE PREVISÃO - EIXO X - INFORMAÇÃO NÃO CONFIÁVEL

Intervalo de previsão	Limite inferior (NM)	Limite superior (NM)
99%	-8.56	116.29
95%	-5.75	93.40
90%	-4.38	79.91
80%	-2.81	56.30
70%	-1.77	43.69
60%	-0.91	33.18
50%	-0.13	23.53

Logo com os resultados obtidos foi possível construir a área de probabilidade ilustrada pela figura 4.

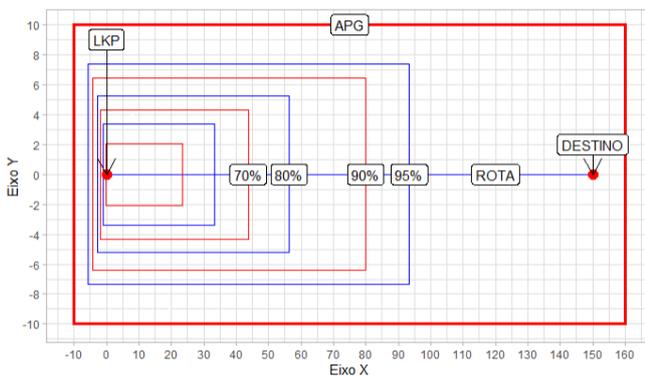


Fig. 4. Área de probabilidade – Informação não confiável.

C. Intervalos de previsão para LKP definida por radiobaliza do Sistema COSPAS-SARSAT

Para a construção dos intervalos foram calculadas a média e o desvio padrão, obtendo os seguintes valores,

respectivamente: 0.595 NM e 0.724 NM, gerando os seguintes resultados conforme a tabela V.

TABELA V. NÍVEL DE CONFIANÇA PARA PREVISÃO - RADIOBALIZA COSPAS-SARSAT

Nível de confiança para previsão	Limite superior (NM)
99%	2.53
95%	2.04
90%	1.72
80%	1.28
70%	0.74

Logo com os resultados obtidos foi possível construir a área de probabilidade ilustrada pela figura 5.

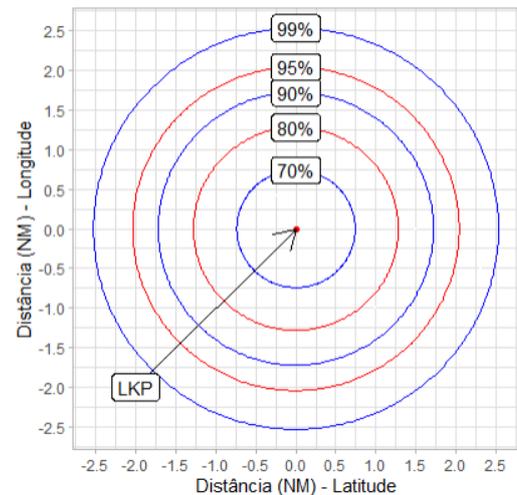


Fig. 5. Área de probabilidade – Radiobaliza COSPAS-SARSAT.

D. Comparação dos resultados com novas observações

Após a obtenção dos resultados da pesquisa foi realizado um novo contato com a Divisão SAR, no intuito de coletar os dados das MBU ocorridas em 2022 até o mês de junho, e assim verificar se os novos dados obtidos estavam de acordo com o resultado que foi apresentado neste trabalho. Com isso foi observado somente um caso válido para comparação, visto que foi a única missão que ocorreu em terra, com avistamento confirmado e com o relatório da missão já concluído. O caso em questão é a Missão de Busca pelo PT-LSB, que ocorreu no dia 24 de maio de 2022, no trecho entre SBIC (Itacoatiara/AM) e SWFN (Aeroclube de Flores – Manaus/AM), o qual teve sua LKP determinado pelo sinal de radiobaliza do Sistema COSPAS-SARSAT, sendo encontrado a 2.02 NM da LKP, conforme a figura 6.

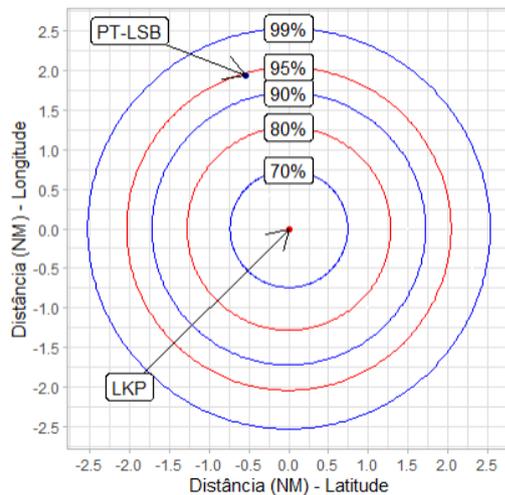


Fig. 6. Avistamento do PT-LSB em relação à LKP.

VI. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou trazer a aplicação de métodos científicos com o intuito de aprimorar o planejamento e a coordenação das Missões de Busca, utilizando dados estatísticos para delimitar as áreas de busca mais prováveis a partir dos dados obtidos nas operações bem-sucedidas.

Na fundamentação teórica foi apresentada como são construídas as áreas de busca, e os princípios de probabilidade que norteiam o planejamento.

O desenvolvimento apresentou os dados e a metodologia, com isso foi possível verificar que a construção de intervalos de previsão por meio da simulação *Bootstrap* seria adequado para alcançar o objetivo esperado.

Os resultados alcançados se demonstraram satisfatórios, sendo possível construir os intervalos de previsão com a robustez necessária, conseguindo assim gerar áreas de probabilidade de fácil aplicação para auxílio no planejamento das Missões de Busca.

Um ponto importante observado na pesquisa foi a questão da APG, visto que, apesar de terem sido confeccionadas áreas de probabilidade, a Área de Probabilidade Genérica demonstrou ser coerente com a sua finalidade e deve ser utilizada como base, visto que não se pode descartar a possibilidade de a aeronave ser encontrada ao longo dela. Depreende-se dos resultados que as áreas determinadas por este estudo contribuem como um auxílio direcionador ao planejamento, e não como um substituto à APG.

Conforme relatado no texto, uma das dificuldades do trabalho foi a coleta de dados, visto que os relatórios apresentam as informações de maneira desorganizada, o que acarreta dúvidas.

Como sugestão de estudos futuros, as áreas de probabilidade determinados por este trabalho podem ser utilizadas como base para a formulação de modelos de probabilidade bayesianos, assim como é utilizado para a composição de planos de busca por crianças desaparecidas [10].

Este trabalho contribui, sem a pretensão de encerrar as pesquisas na área, haja vista que novos equipamentos são

constantemente desenvolvidos, melhorando a capacidade de navegação das aeronaves e o monitoramento dos voos, conseguindo obter posições mais precisas e confiáveis de localização. Recomenda-se que essa análise seja realizada novamente à medida que se vislumbre a possibilidade de redução dos intervalos.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe Sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p. 19567, 23 dez. 1986.
- [2] BRASIL. Força Aérea Brasileira. MCA 64-3 Manual de Coordenação de Busca e Salvamento Aeronáutico. Brasília, DF: FAB, 2019.
- [3] BRASIL. Força Aérea Brasileira. PCA 64-1 Plano de Busca e Salvamento Aeronáutico Brasileiro. Brasília, DF: FAB, 2019.
- [4] CANADA. National Defence Headquarters. National search and rescue manual. B-GA-209-001/FP-001 DFO 5449. Ottawa: DND/CCG, 1998.
- [5] Cooper, D. C.; Frost, J. R.; Robe, R. Q. Compability of land SAR procedures with search theory. Washington, D.C: Potomac Management Group, 2003.
- [6] Devore, J. L. Probabilidade e estatística para engenharia e ciências: tradução da 9ª edição norte-americana. 3ª edição. São Paulo: Cengage Learning, 2018.
- [7] Efron, B.; Tibshirani, R. An Introduction to the Bootstrap. Nova York: Chapman e Hall, 1993.
- [8] International Maritime Organization; International Civil Aviation Organization. IAMSAR manual: mission cordination. 8th ed. Ottawa: IMO; OACI, 2019. v. 2
- [9] Koester, R. J.; Greatbatch, I. Missing aircraft crash sites and spatial relationships to the last radar fix. Aerospace Medicine and Human Performance, v. 87, n. 2, p. 114-121, Feb. 2016.
- [10] Lin, L.; Goodrich, M.A. A Bayesian approach to modeling lost person behaviors based on terrain features in Wilderness Search and Rescue. Computational and Mathematical Organization Theory, v. 16, p 300-323, 2010.
- [11] Montgomery, D. C.; Runger, G. C. Applied Statistics and Probability for Engineers: 7th edition. Hoboken, NJ: Wiley, 2018.
- [12] Rice, J. Mathematical Statistics and Data Analysis. 2nd ed. Belmont, CA: Duxbury Press, 1994.
- [13] Soza e Company, LTD; U.S. Coast Guard. The Theory of Search: A Simplified Explanation. U.S.A. 1996. (Delivery Order Number 96-F-HNG040 Under Contract Number DTCG23-95-D-HMS026).