

# Otimização da Probabilidade de Sucesso em Missões de Busca por aeronaves desaparecidas

**Resumo** – Missões de Busca e Salvamento ocorrem frequentemente em contextos de crise e geralmente são desencadeadas por acidentes aéreos. Para alcançar o êxito na localização dos desaparecidos, é imprescindível que a coordenação e o planejamento sejam executados de maneira eficiente pelo *Search and Rescue Mission Coordinator* (SMC). No entanto, determinar essa localização pode ser uma tarefa complexa, em virtude de fatores que dificultam o plano de ação, resultando em planejamentos ineficientes. Deste modo, a fim de aprimorar o planejamento das Missões de Busca e o esforço dos envolvidos na busca, essa pesquisa apresenta, por meio de modelos bayesianos que atualizam os valores da *Probability of Containment* (POC), probabilidade de o objeto estar na área de busca, o cálculo para as maiores *Probability of Success* (POS) probabilidade do objeto ser encontrado. Os resultados evidenciaram uma melhora na POS acumulada para cada cenário proposto, auxiliando o SMC na designação das áreas de busca.

**Palavras-Chave** – Missão de Busca, *Probability of Success*, modelos bayesianos.

## I. INTRODUÇÃO

Em dezembro de 1986, com a criação do Código Brasileiro de Aeronáutica, em seu Art.12, inciso VI, foi atribuído a coordenação das Missões de Busca e Salvamento ao Ministério da Aeronáutica, em consonância com os compromissos e as normas internacionais e nacionais [1].

Sendo assim, a partir do recebimento da informação de uma aeronave desaparecida ou em situação de perigo, toda uma estrutura de coordenação e de planejamento é movida para a verificação da disponibilidade dos recursos, a fim de que estes sejam empregados com a maior eficácia possível, para garantir o objetivo final de resguardar vítimas de acidentes aéreos.

Da mesma forma, é necessário dispor de pessoal habilitado e especializado, dotado de equipamentos apropriados para operações de busca e salvamento. Essa função é confiada aos Esquadrões da FAB, que atuam como Unidades de Busca e Salvamento, ou *Search and Rescue Units* (SRU).

O maior responsável pelo planejamento da Missão de Busca (MBU) é o *Search and Rescue Mission Coordinator* (SMC). Após receber as informações e analisá-las criteriosamente, ele elabora o plano de ação, envolvendo as principais SRU destinadas para a execução da missão [2].

A informação mais importante para se planejar uma MBU é a *Last Known Position* (LKP), pois a partir dela será iniciado o dimensionamento da área de busca [2]. Quanto maior for sua precisão, maior será a probabilidade de encontrar a aeronave desaparecida. No entanto, nem todas as aeronaves estão equipadas com bons instrumentos de navegação, podendo também estar em locais desprovidos de cobertura do radar [2].

Outrossim, existem alguns fatores que podem vir a dificultar o plano de ação do SMC, como o tipo de relevo da área de desaparecimento e a densidade da vegetação local. Além disso, atualmente não é comum efetuar procedimentos para recalcular as probabilidades das áreas de busca, tampouco são normalmente realizadas mais de uma cobertura sobre as áreas.

Deste modo, a fim de aprimorar o planejamento das MBU e a alocação dos meios empregados, essa pesquisa apresenta, por meio de modelos bayesianos, o cálculo para as maiores Probabilidade de Sucesso acumuladas, envolvendo as áreas de probabilidade computadas, auxiliando o SMC no processo decisório a respeito da designação das áreas de busca.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### A. Determinando a área de busca

Um dos elementos de maior importância no processo de uma Missão de Busca consiste na identificação estratégica do local inicial das operações. Para isso, são seguidas etapas bem definidas. De acordo com as diretrizes estabelecidas pelo IAMSAR (Manual Internacional de Busca e Salvamento Aeronáutico e Marítimo), elaborado pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) e pela Organização Marítima Internacional (OMI), a determinação do local da busca se inicia com a delimitação da área na qual possa ser presumível a presença de sobreviventes.

Em virtude da falta de informações precisas, sobre a localização do objeto de busca, foi estabelecida a Área de Probabilidade Genérica (APG), para delimitar a região destinada às operações de busca [2], amplamente utilizada pelo Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico Brasileiro. A APG é composta por uma extensão que se inicia a 10 NM atrás da LKP e se estende até 10 NM (*Nautical Miles*, em português milhas náuticas) além do destino da aeronave, com uma margem lateral de 10 NM, alinhada ao eixo da rota entre a LKP e o destino da aeronave conforme representado pela Fig. 1. [2].

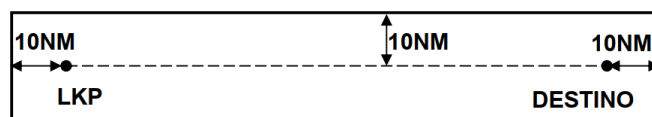


Fig. 1. Área de Probabilidade Genérica (APG).

### B. Definindo a LKP

A LKP é estabelecida com base em informações essenciais, como a última posição reportada, através de um contato de rádio da aeronave, avistamentos confirmados, registros de radar ou sinais emitidos por radiobalizas COSPAS-SARSAT (*Cosmicheskaya Sistemya Poiska Avariynich Sudov* – *Search and Rescue Satellite-Aided Tracking*) [2]. Ao considerar as características da LKP, devem-se levar em conta fatores como erros de navegação, que dependem do tipo de sistema que estava sendo utilizado e da distância percorrida, além do planejamento do objeto em busca, que envolve a consideração da rota provável, velocidades e altitudes possíveis. Na ausência de quaisquer informações relevantes, a última posição conhecida será designada como o aeródromo de decolagem [2].

Ao obter qualquer uma dessas informações, é imprescindível utilizar aquela que seja a mais atualizada e que ofereça o mais alto nível de precisão e confiabilidade.

Geralmente, segue-se uma ordem de prioridade na seleção das informações, sendo a primeira como a radiobaliza do Sistema COSPAS-SARSAT, seguido das imagens de radar, contato de rádio e, por fim, informações genéricas ou na inexistência, o aeródromo de partida [2].

### C. Probability of Containment

A *Probability of Containment* (POC), também conhecida em português como a probabilidade de estar contido, representa a chance do objeto de busca estar situado dentro da área designada para a operação. Essa probabilidade é interpretada como a possibilidade de um objeto de busca estar presente numa determinada região geográfica [3].

### D. Probability of Detection

A *Probability of Detection* (POD) refere-se à chance de localizar o objeto de busca, presumindo que esteja nas áreas designadas. Logo é uma medida de quanto uma área foi observada [8]. De outra forma, a POD é definida como uma métrica que reflete a eficiência com que uma busca é conduzida em uma área específica [6].

Nesse sentido, a POD está intrinsecamente ligada ao *Coverage*, em português chamado Fator de cobertura (C), que compara ao esforço despendido em uma área em relação ao tamanho dessa área, ou seja, é a razão entre o Esforço de Busca (Z) empregado em uma subárea e a mesma área (A), então,  $C=Z/A$ . Também pode ser calculado utilizando a largura de varredura (W) e o espaçamento (S), obtendo:  $C=W/S$  [6]. Os valores de W são obtidos no Apêndice N do [6]. Essa relação é analisada por [7], demonstrada em (1):

$$POD = 1 - e^{-C} \quad (1)$$

### E. Probability of Success

$$\sum POS = \sum (POD * POC) \quad (2)$$

De acordo com [3], a *Probability of Success* (POS), é determinada pela multiplicação da *Probability of Containment* pela *Probability of Detection*, conforme (2), podendo ser traduzido como a somatória das tentativas de busca em uma região específica. Tal valor representa a probabilidade da Missão de Busca localizar o objeto em questão.

### E. Teorema de Bayes e Probabilidade Total

A probabilidade da ocorrência de um evento condicionada à ocorrência de outro evento chama-se probabilidade condicional e a notação utilizada, é  $P(A|B)$ , ou seja, probabilidade de A dado B, em que B é considerado o evento condicionante [4].

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (3)$$

$$P(A \cap B) = P(A|B).P(B) \quad (4)$$

$$P(B \cap A) = P(B|A).P(A) \quad (5)$$

Pela propriedade da comutatividade,  $A \cap B = B \cap A$ , assim  $P(A \cap B) = P(B \cap A)$ . Igualando os resultados das equações (4) e (5), chega-se no teorema de Bayes (6).

$$P(A|B).P(B) = P(B|A).P(A) \quad (6)$$

O teorema da Probabilidade Total, acaba sendo uma decorrência da aplicação do teorema de Bayes em que, um evento B sendo dividido em k eventos mutuamente exclusivos  $A_1, A_2, \dots, A_k$ , pode ser escrito no seguinte modo:  $B = (B \cap A_1) \cup (B \cap A_2) \cup \dots \cup (B \cap A_k)$ .

$$P(B) = P(B \cap A_1) + \dots + P(B \cap A_k) \quad (7)$$

Dessa forma, aplicando a equação (7) o resultado obtido pela equação (5), tem-se o teorema da Probabilidade Total [4]:

$$P(B) = P(B|A_1).P(A_1) + \dots + P(B|A_k).P(A_k) \quad (8)$$

## III. MATERIAIS

A presente pesquisa trata de uma abordagem através das áreas de probabilidade construídas por [5], sendo utilizadas como base para a metodologia empregada, ou seja, trata-se de um aperfeiçoamento para as missões de Busca.

Sendo assim, as áreas obtidas a partir de [5] foram submetidas através de modelos bayesianos que evidenciam a saturação da área em virtude de cada sobrevoo.

Conforme descrito por [5], definiu-se a construção de duas áreas de probabilidade, através do cálculo de previsão para a LKP, sendo a primeira por informação confiável (visualização radar, radiobaliza do Sistema COSPAS-SARSAT) e a segunda por informação não confiável (contato rádio ou outra informação genérica), tais diferenciações ocorrem devido a precisão com que são obtidas as LKP, conforme as Fig. 2 e 3:

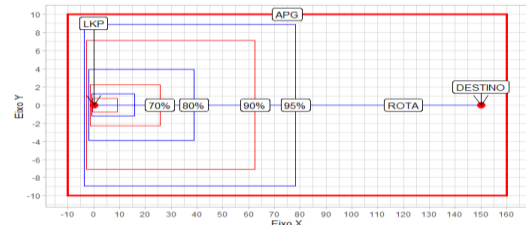


Fig. 2. Área de probabilidade – Informação confiável

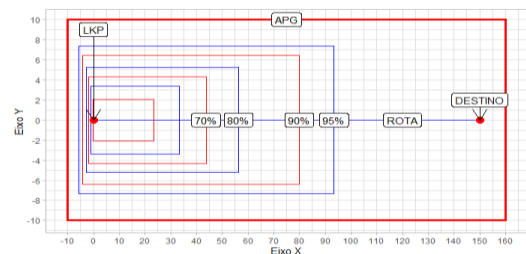


Fig. 3. Área de probabilidade – Informação não confiável

Com a construção das áreas de probabilidade, é possível analisar as POC encontradas e em consequência, cada cenário construído a partir da POD, realizar o cálculo da POS.

#### A. Validação das áreas de probabilidade em ocorrências recentes

A fim de verificar e validar os procedimentos ora mencionados, foram coletadas informações de acidentes aeronáuticos, junto à Divisão SAR do DECEA, que vieram a ocorrer após a conclusão da pesquisa de [5], no ano de 2022. Sendo realizado de maneira análoga todo o raciocínio referente ao desenvolvimento, verificando se os resultados obtidos estão contidos nas áreas de probabilidade.

As informações referem-se a sete ocorrências dentro das *Aeronautical Rescue Coordination Center* (ARCC), sendo quatro reportadas pelo ARCC-AZ, duas pelo ARCC-CW e uma pelo ARCC-BS. Os acidentes que foram abordados pelo ARCC-AZ tratam das matrículas PT-LSB, PU-KAK, PT-MES e PU-POT, dentre elas apenas o PT-LSB teve como seu LKP definido através da radiobaliza do sistema COSPAS-SARSAT, as outras ocorrências tiveram a LKP atribuída através do acionamento de SPOT.

Os acidentes que ocorreram dentro da área do ARCC-CW foram os de matrícula FAB 1924 e o PT-ZRB, ambos receberam sua LKP através da última imagem radar. E o único acidente dentro da área de ARCC-BS, foi o PR-AAM, que devido o recebimento das informações foi atribuída a LKP como o aeródromo de decolagem.

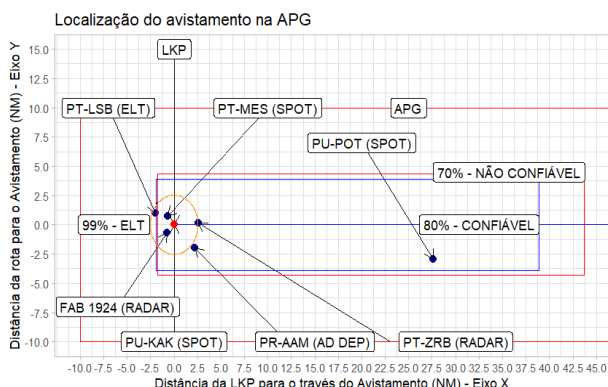


Fig. 4. Ocorrências recentes – Localização do avistamento na APG

Com isso, observa-se que todas as ocorrências permanecem dentro das áreas de probabilidade ora calculadas. Portanto, é possível realizar inferências sobre as missões de busca, a fim de identificar se a missão foi eficiente com a utilização dos esforços de busca.

## IV. METODOLOGIA

### A. Métodos

Inicialmente a abordagem será realizada definindo as áreas de probabilidade. De forma a obter uma ampla visualização dos eventos, foram escolhidas 4 áreas dentro de cada uma das APG definidas como informação confiável e não confiável, resultando um total de 8 áreas trabalhadas. Conforme os

conceitos já abordados, essas áreas correspondem a relativa POC de 95%, 90%, 80% e 70%, tanto para os casos de informações confiáveis quanto não confiáveis.

De modo a considerar a normalidade dos eventos e não situações ideais para a execução de uma missão de busca, serão abordados cenários que contemporizam a realidade em termos de vegetação, terrenos montanhosos, necessitando que haja ora uma redução, ora um aumento no fator de cobertura para um ajuste da POD.

### B. Abordagem inicial

Com a definição dos dados referentes à POD e a POC, será possível calcular tanto a POS da primeira passagem, quanto a atualização da POC da área sobrevoada, em caso de não avistamento. Para evidenciar esse tratamento será utilizado o teorema de Bayes, que calcula a probabilidade condicional de um evento “A”, dado que outro evento “B” ocorreu [4].

Logo, no viés dessa pesquisa, será considerado a probabilidade condicional da POC inicial relacionada com a probabilidade de não detecção.

### C. Cálculo da Probabilidade Condicional

Para iniciar a análise dos dados, será abordado a equação (1) que corresponde ao valor encontrado para POD e também para a atualização da POC recorrente, em virtude dos eventos, calculado pela (9), advinda da probabilidade total, demonstrada através da equação (8) da POC inicial, ou seja, da probabilidade de estar contido na área inicial e haver sucesso no sobrevoo e a probabilidade de estar na área inicial e não haver sucesso (falha) no sobrevoo. Exemplificado pelo seguinte raciocínio:  $P(B)$ , por exemplo, corresponde à probabilidade de conter o acidente na área “B”, em outras palavras refere-se a POC inicial,  $P(B|F)$ , corresponde à probabilidade de conter o acidente dado que obteve falha, ou seja, a POC condicional, e  $P(F)$ , à probabilidade de falha. Da mesma forma,  $P(B|S)$  corresponde à probabilidade de conter o acidente dado que obteve sucesso, o resultado é conhecido e igual a 1 (100%), e  $P(S)$ , corresponde à probabilidade de sucesso. Logo, para encontrar a POC condicional ( $POC_n$ ) após um número “n” de passagens será necessário respeitar o seguinte raciocínio, levando em consideração que a POC inicial ( $POC_{n-1}$ ) já está definida (95%, 90%, 80% e 70%):

$$POC_n = POC_{n-1} * (1 - POD) / (1 - POC_{n-1} * POD) \quad (9)$$

### D. Cálculo da Probabilidade de Sucesso Acumulada

Após a identificação dos valores obtidos com as probabilidades condicionais, será apresentado o cálculo das Probabilidades de Sucesso Acumuladas respeitando (10):

$$POS_{Ac} = POD * POC_1 + POD * POC_2(1 - POC_1 * POD) + POD * POC_3(1 - POC_2 * POD) + \dots \quad (10)$$

A fim de elucidar os eventos dessa expressão, faz-se necessário uma breve explicação. Como a probabilidade de sucesso (POS) é obtida pela multiplicação entre os fatores

POC e POD, esse cálculo será recorrente com toda nova POC gerada, mantendo apenas o valor da respectiva POD (fator que permanece o mesmo em todas as passagens). Após isso, a partir da segunda passagem, um novo termo passa a compor a multiplicação entre os fatores, o fator “ $(1-POC*POD)$ ”. Essa ocorrência advém em virtude da falha do evento anterior, sendo necessário estar presente, já que o objeto da busca não foi encontrado.

No entanto, como descrito anteriormente, os cálculos serão utilizados até atingir valores de POC menores que 50% (parâmetro de referência), dependendo da área poderá ser atingido após a primeira, segunda, terceira, ou até mesmo na quarta passagem, e evidenciam um momento de decisão, como a necessidade ou não de modificação da área de busca, dependendo do esforço disponível.

#### E. Dimensionamento das áreas de probabilidade e dos tempos de voo

Como essa pesquisa tem o objetivo de evidenciar as maiores probabilidades de sucesso em virtude do esforço aéreo empregado, foi necessário obter o dimensionamento das áreas de probabilidade construídas por [5], a fim de calcular o número efetivo de horas de voo em cada passagem. Para isso, foi definida a velocidade de 120 *knots* e o espaçamento de 1NM para a realização do padrão de busca, parâmetros utilizados pela aeronave SC-105 na maioria das missões desse tipo no Brasil.

### V. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### A. Resultados e análise das Probabilidades Condicionais

Através de (9) foram calculadas as probabilidades condicionais, sendo apresentadas e em seguida analisadas separadamente.

Dessa forma, foram obtidos os seguintes resultados, tanto para as áreas correspondentes às informações confiáveis, quanto para as não confiáveis, considerando o fator de cobertura igual a 1 ( $POD=63\%$ ):

TABELA I. PROBABILIDADES CONDICIONAIS POD 63%

POC Inicial	Nova POC após a 1ª Passagem	Nova POC após a 2ª Passagem	Nova POC após a 3ª Passagem
POC 95%	87.54 %	72.23 %	49.04 %
POC 90%	76.90 %	55.19 %	31.31 %
POC 80%	59.67 %	35.38 %	16.84 %
POC 70%	46.33 %	24.20 %	10.65 %

A fim de esclarecer os resultados, algumas considerações são necessárias. A primeira, sugere que o valor de POD que será empregado em cada passagem, permanecerá o mesmo, isso ocorre em virtude de o fator de cobertura permanecer o mesmo. A segunda observação, é que as passagens seguintes só ocorrem em face do não avistamento. Logo, é observado que a cada nova passagem, existe uma redução esperada para a POC inicial e conseqüentemente um aumento da probabilidade de estar contido na área que não foi definida.

Outro fator que é válido observar, trata-se da necessidade de permanência de sobrevoos na área atual, ou seja, é mais válido que seja refeita a cobertura da área inicial até que se atinjam valores menores que 50% (parâmetro de referência), para que haja uma possibilidade de troca da área de busca. Contudo, ressalta-se que cada caso deve ser analisado individualmente, de modo que a troca de área possa ser realizada com valores ainda menores de POC, como por exemplo de 20% até 30%. Isso, logicamente, vai depender da disponibilidade do esforço aéreo.

Portanto, é possível observar que áreas iniciais maiores, possuirão, naturalmente, maior probabilidade de avistamento, e por conta disso, necessitarão de mais esforço de busca a fim de efetuar uma saturação efetiva na área inicial. Por exemplo, na POC de 95%, pode-se perceber que uma possível troca de área apenas seria realmente efetiva após a terceira passagem de cobertura, atingindo uma probabilidade condicional de 49.01%. O mesmo fenômeno ocorre com a POC de 90%, apenas após a terceira cobertura, esta área ficará com probabilidade condicional de 31.31 %.

A fim de elucidar melhor o comportamento das áreas de probabilidade condicional, foi realizado a troca para mais dois perfis. Um com um fator de cobertura de 0.5, obtendo uma POD aproximada de 39%, outro com fator de cobertura empregado de 1.5, conseguindo uma POD aproximada de 78%.

TABELA II. PROBABILIDADES CONDICIONAIS POD 39%

POC Inicial	Nova POC após a 1ª Passagem	Nova POC após a 2ª Passagem	Nova POC após a 3ª Passagem
POC 95%	92.01 %	87.48 %	80.91 %
POC 90%	84.51 %	76.80 %	66.75 %
POC 80%	70.81 %	59.53 %	47.16 %
POC 70%	58.59 %	46.18 %	34.23 %

Os valores encontrados na tabela II evidenciam de maneira geral, o quão vagaroso é o decréscimo das probabilidades condicionais. Essa situação advém de ocorrências marginais, onde o objeto de busca encontra-se em florestas com vegetações densas ou relevos muito acidentados, dificultando a probabilidade de detecção.

Durante esse perfil de busca, as áreas iniciais maiores (POC 95% e 90%) deverão realizar um número maior que 3 passagens para criar probabilidades condicionais menores que 50%. Sendo nesse caso, evidenciada a necessidade de permanência dos sobrevoos nas áreas escolhidas. Mesmo em áreas menores, torna-se mais vantajoso a manutenção da área.

Para a última análise das probabilidades condicionais será considerado o fator de cobertura de 1.5, ou seja, uma POD aproximada de 78%, tanto para as áreas correspondentes às informações confiáveis e não confiáveis.

TABELA III. PROBABILIDADES CONDICIONAIS POD 78%

POC Inicial	Nova POC após a 1ª Passagem	Nova POC após a 2ª Passagem	Nova POC após a 3ª Passagem
POC 95%	80.91 %	48.61 %	17.42 %
POC 90%	66.75 %	30.94 %	9.08 %

POC 80%	47.16 %	16.60 %	4.25 %
POC 70%	34.23 %	10.40 %	2.52 %

Os resultados encontrados a partir da tabela III, evidenciam o decaimento mais significativo em relação a cada cobertura. Na prática esse fator é pouco empregado durante as missões de busca, por ser de difícil implementação e necessitar de grande disponibilidade de meios para a execução. Nota-se que as reduções nas POC ocorrem de maneira acentuada em consequência de uma necessidade de um esforço de busca maior. Contudo, podem ser obtidos resultados significativos levando em consideração áreas que não sejam muito extensas.

### B. Resultado das Probabilidades de Sucesso

A partir da construção das POC recorrentes em virtude de cada passagem, podemos efetuar o cálculo da POS acumulada utilizando (10), conforme tabela IV, quando sendo investigadas as áreas de informação confiável, com POD de 63%:

TABELA IV. PROBABILIDADE DE SUCESSO ACUMULADA – POD 63% - INFORMAÇÃO CONFIÁVEL

Áreas Iniciais	1ª POS	Tempo de voo Ac	2ª POS	Tempo de voo Ac	3ª POS	Tempo de voo Ac	POS Ac
POC 95%	0.60	12.12	0.22	24.24	0.082	36.36	0.903
POC 90%	0.56	7.76	0.20	15.52	0.077	23.28	0.855
POC 80%	0.50	2.66	0.18	5.32	0.068	7.98	0.760
POC 70%	0.44	1.02	0.16	2.04	0.06	3.06	0.665

Da mesma forma, foram obtidos os próximos resultados de POS acumulada, quando analisadas as áreas de informação confiável com POD de 39%:

TABELA V. PROBABILIDADE DE SUCESSO ACUMULADA – POD 39% - INFORMAÇÃO CONFIÁVEL

Áreas Iniciais	1ª POS	Tempo de voo Ac	2ª POS	Tempo de voo Ac	3ª POS	Tempo de voo Ac	POS Ac
POC 95%	0.37	6.06	0.227	12.12	0.137	18.18	0.738
POC 90%	0.35	3.88	0.215	7.76	0.13	11.64	0.699
POC 80%	0.31	1.33	0.191	2.66	0.115	3.99	0.621
POC 70%	0.27	0.51	0.165	1.02	0.10	1.53	0.544

Por fim, enquanto exploradas as áreas de informação confiável, obteve-se os seguintes resultados de POS acumulada com POD de 78%:

TABELA VI. PROBABILIDADE DE SUCESSO ACUMULADA – POD 78% - INFORMAÇÃO CONFIÁVEL

Áreas Iniciais	1ª POS	Tempo de voo Ac	2ª POS	Tempo de voo Ac	3ª POS	Tempo de voo Ac	POS Ac
POC 95%	0.73	18.18	0.165	36.36	0.036	54.54	0.939
POC 90%	0.69	11.64	0.156	23.28	0.035	34.92	0.890

POC 80%	0.62	3.99	0.139	7.98	0.031	11.97	0.791
POC 70%	0.54	1.53	0.121	3.06	0.027	4.59	0.692

O raciocínio apresentado abordou as Probabilidades de Sucesso nas áreas de informação confiável. Contudo, obteremos valores idênticos de POS acumulada quando analisando as informações não confiáveis, sendo apenas modificados os tempos de voo, em virtude de as áreas possuírem tamanhos diferentes.

### C. Análise dos Resultados finais

De maneira geral, foram obtidos resultados satisfatórios e coerentes analisando cada área escolhida, dado que o objetivo do trabalho foi identificar os maiores resultados da Probabilidade de Sucesso (POS) em diferentes cenários, propondo ganhos operacionais e logísticos.

Para o primeiro cenário proposto, POC inicial de 95% e fator de cobertura igual a 1, é possível constatar que as três primeiras passagens se fazem necessárias para obter um valor significativo da POS, de aproximadamente 90%. Isso é ratificado pois, apenas após a terceira passagem o valor atualizado da POC escolhida passa a ser menor que 50% (49.04%), levando um total de 36.36 horas de voo para alcançá-la quando as informações forem confiáveis.

Com a POC inicial de 90%, observa-se a mesma característica supracitada. Logo, também é necessário que seja realizado um total de três passagens a fim de obter um resultado vantajoso da POS, alcançando 85.5%. Portanto, apenas após a terceira passagem é obtida uma POC de 31.31% e com isso assumindo um total de 23.28 horas de voo para informações confiáveis.

Ao analisar a área com POC de 70%, observa-se que apenas uma passagem é suficiente para obter um valor de POS igual a 44.2%. De maneira análoga, com apenas uma passagem, a POC atualizada passa a valer 46.33%. Nesse caso, é altamente recomendável que se mantenha a área por mais passagens, pois valores significativos de POS podem ser acrescentados com pequenos esforços de busca adicionais.

Ao observar os resultados atrelados ao fator de cobertura igual a 0.5, isto é, uma POD de 39%, as referidas POC de 95% e de 90%, após três passagens apresentam um desempenho de POS de respectivamente 73.8% e 69.9%, pois de fato, depois de cada varredura a área não é completamente saturada, isso ocorre geralmente em detrimento das dificuldades encontradas durante a MBU, como por exemplo a situação do relevo ou a densidade de cobertura vegetal.

Por fim, analisando as POS que utilizam uma POD de 78%, nota-se que houve o maior resultado obtido logo na primeira passagem em comparação com as demais. De fato, esse resultado é totalmente compreendido já que a área pesquisada estaria sendo saturada com o maior valor de POD atribuído. Contudo, a demanda de esforço aéreo também acaba aumentando em relação às anteriores.

### D. Observação de caso real e comparação com a abordagem proposta

A fim de exemplificar a melhora na tomada de decisão em uma MBU utilizando o modelo proposto nessa pesquisa, foi abordado o acidente envolvendo a aeronave PU-POT.

A Fig. 5. apresenta a imagem do sistema SARMASTER (software que auxilia o planejamento da área de busca) do ARCC-AZ, disponibilizado no relatório final da referida missão.

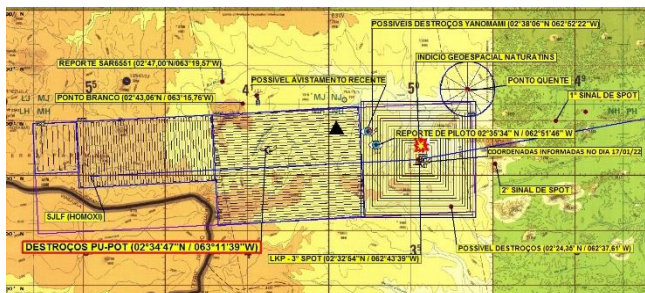


Fig. 5. Área sobrevoada na Missão de Busca do PU-POT

Inicialmente, com base no relatório final da missão, foram computadas aproximadamente 60 horas de voo atribuídas para o esforço de busca, sendo desconsideradas as horas de voo correspondentes aos deslocamentos. Ressalta-se que a APG não foi totalmente coberta pelo fato de parte da área abranger uma parte do território Venezuelano.

Os parâmetros utilizados foram: I) o alvo correspondia a uma aeronave menor que 5700 Kg; II) a altura foi definida como 1000 ft sobre o terreno; III) o espaçamento (S) de 0.5 para todos os padrões; IV) a área de probabilidade utilizada foi a de informação não confiável; e V) devido a densidade da vegetação ser superior à 85% da área, foi necessário aplicar o fator de correção equivalente à 0.1, obtendo nesse caso uma largura de varredura (W) de 0.15 NM.

Logo, com esses parâmetros é possível constatar um fator de cobertura de 0.3, que equivale a uma POD de 25,9%. Como a área foi totalmente varrida apenas uma vez dentro do território brasileiro durante 10 dias de missão, foi considerada que foi sobrevoada a POC de 100%, mesmo sem ter sido realizada a busca no território Venezuelano, ou seja, o objeto de busca estava dentro dela. Dessa forma, pode-se concluir que aproximadamente 60 horas de voo foram atribuídas na cobertura total em uma passagem, mesmo sem sobrevoar a parte dentro da Venezuela, para obtenção de uma POS equivalente à 25,9%. A MBU não obteve sucesso, e a aeronave foi encontrada alguns meses depois por habitantes da região, e estava dentro da área sobrevoada.

Utilizando-se o procedimento descrito nessa pesquisa, a fim de não descaracterizar os parâmetros utilizados pela SRU, a abordagem utilizará as mesmas padronizações de espaçamento e varredura, portanto será mantido uma POD de 25,9%. Contudo, foi realizado um direcionamento do esforço de busca para uma área com POC de 80%, realizando-se três passagens para exemplificação. Os resultados foram apresentados na tabela VII:

TABELA VII. PROBABILIDADE DE SUCESSO – POD 25,9%

Área Inicial	1ª POS	Tempo de voo Ac	2ª POS	Tempo de voo Ac	3ª POS	Tempo de voo Ac	POS Ac
--------------	--------	-----------------	--------	-----------------	--------	-----------------	--------

POC 80%	0.207	10.3	0.154	20.6	0.114	30.9	0.475
---------	-------	------	-------	------	-------	------	-------

Conforme desempenho apresentado, constatamos que uma POS de 47.5% é obtida com um esforço de busca de 30.90 horas de voo. Logo, com os resultados podemos concluir que praticamente metade do esforço foi destinado para quase o dobro de Probabilidade de Sucesso.

## VI. CONCLUSÕES

Utilizando conceitos de probabilidade condicional e bayesiana, a presente pesquisa analisou a importância da priorização e do recobrimento das áreas de probabilidade em Missões de Busca por aeronaves desaparecidas, com o objetivo de aperfeiçoar o planejamento e o desempenho final das referidas missões.

Os resultados e sua análise evidenciaram a possibilidade de atingir uma Probabilidade de Sucesso Acumulada adequada para cada cenário com seu respectivo fator de cobertura atribuído, optando por processos de sucessivos sobrevoos nas áreas escolhidas, a fim de obter valores significativos de POS com a utilização eficiente do esforço de busca. Por fim, foi apresentado um caso real e estimados os valores para a obtenção da POS. Após, foram comparados com os resultados gerados a partir da abordagem proposta nesta pesquisa. A aplicação mostrou-se significativa dada a comparação dos desempenhos.

Por fim, ressalta-se que os cálculos e procedimentos utilizados nesta pesquisa devem servir de orientação para melhores desempenhos de POS em uma MBU, isso não significa que áreas com menores probabilidades não devam ser sobrevoadas, pois de fato, eventualmente, o objetivo pode estar dentro delas. Contudo, a intenção é de que as áreas com maior probabilidade sejam priorizadas em concordância com o esforço de busca disponível, e não serem tratadas com a mesma importância.

## 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] Cooper, D. C.; Frost, J. R.; Robe, R. Q. Compability of land SAR procedures with search theory. Washington, D.C: Potomac Management Group, 2003.
- [4] Devore, J. L. Probabilidade e estatística para engenharia e ciências: tradução da 9ª edição norte-americana. 3ª edição. São Paulo: Cengage Learning, 2018.
- [5] Fabian F. A. et al. Análise estatística das missões de busca por aeronaves desaparecidas – Construção das áreas de probabilidade. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA, 25., 2022, São José dos Campos. Anais [...]. São José dos Campos: ITA, 2022.
- [6] International Maritime Organization; International Civil Aviation Organization. IAMSAR manual: mission coordination. 9th ed. Montreal: IMO; OACI, 2022. v. 2
- [7] Koopman, B.O. Search and Screening: General Principles with Historical Applications. Pergamon Press. 1980.
- [8] 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).