

Modelagem de Cobertura para Defesa Aérea: Análise Comparativa entre Áreas e Rotas no Posicionamento de Aeronaves

João Vitor Brunheroto Anacleto¹, Mauri Aparecido de Oliveira²

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

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo – O combate ao tráfico aéreo ilícito na fronteira brasileira demanda o emprego otimizado de recursos de defesa. Este artigo compara duas abordagens de modelagem para o Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC), visando definir o posicionamento estratégico de aeronaves de interceptação A-29. As estratégias, uma baseada na cobertura de áreas geográficas e outra em rotas de voo simuladas, foram implementadas em ambiente R para avaliar qual oferece maior eficácia operacional. Os resultados demonstram que a modelagem focada em rotas proporciona uma solução superior e mais aderente ao cenário de maximização de pontos de cobertura. O estudo conclui que a priorização de corredores de voo prováveis, em detrimento de áreas genéricas, potencializa a capacidade de interceptação, oferecendo um subsídio quantitativo para o planejamento da defesa aérea nacional.

Palavras-Chave – Máxima Cobertura, Pesquisa Operacional, Alocação de Meios Aéreos.

I. INTRODUÇÃO

O vasto território brasileiro, que compartilha mais de 16.000 km de fronteiras terrestres com dez nações vizinhas [1], apresenta desafios singulares à segurança e à defesa da soberania. Dentre estes, o tráfico internacional de entorpecentes emerge como uma das maiores ameaças transfronteiriças, demandando do Estado uma resposta robusta, tanto no âmbito jurídico quanto no operacional. A complexidade desse cenário impõe a necessidade de estratégias inovadoras para o emprego eficiente dos meios de defesa.

No domínio legal, a Lei nº 7.565/1986 (Código Brasileiro de Aeronáutica) [2] confere à Força Aérea Brasileira a competência para o controle do espaço aéreo, enquanto o Decreto nº 5.144/2004 [3] regulamenta as medidas coercitivas contra aeronaves suspeitas, culminando, em último caso, no uso da força letal. Para cumprir tal missão, a FAB utiliza o A-29 Super Tucano como seu principal vetor de interceptação, cuja eficácia está intrinsecamente ligada ao seu posicionamento estratégico no território.

No âmbito da Pesquisa Operacional, o Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC), proposto originalmente por Church e ReVelle [4], tem se mostrado uma ferramenta adequada para otimizar essa alocação de recursos. Trabalhos recentes, como o de Miranda [5], adaptaram o PLMC para a localização de aeródromos visando à interceptação de alvos móveis, e Viana [1] demonstrou ganhos expressivos de cobertura ao aplicar o

modelo para definir pontos de sobrevoo do A-29. Contudo, tais abordagens partem de conjuntos predeterminados de pontos de demanda, não capturando necessariamente as variações dinâmicas de voo.

Este trabalho propõe estender essas metodologias por meio da análise comparativa de duas abordagens complementares: a primeira, baseada na cobertura de polígonos de interesse; a segunda, focada na cobertura de rotas simuladas que representam trajetórias suspeitas. O objetivo geral é avaliar qual das abordagens oferece maior efetividade no combate ao tráfico aéreo ilícito, tanto em termos de cobertura geográfica quanto na otimização do emprego de aeronaves. Para tal, a Seção II apresentará o referencial teórico; a Seção III detalhará os métodos; a Seção IV exibirá os resultados; e a Seção V concluirá com as recomendações operacionais.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Defesa do Espaço Aéreo Nacional e Ações de Força Aérea

A defesa do espaço aéreo brasileiro está alicerçada no conceito de Defesa Nacional, formalmente definida como o “conjunto de atitudes, medidas e ações do Estado, com ênfase na expressão militar, para a defesa do Território Nacional, da Soberania e dos interesses nacionais contra ameaças preponderantemente externas” [6]. Os procedimentos específicos para a interceptação de aeronaves suspeitas, por sua vez, são regulamentados pelo Decreto nº 5.144/2004 [3], que estabelece as medidas progressivas de averiguação, intervenção, persuasão e, como último recurso, a destruição.



Figura 1 - Zona de Identificação de Defesa Aérea.

No contexto operacional, a Força Aérea Brasileira (FAB) utiliza-se de uma Zona de Identificação de Defesa Aérea (ZIDA), veja a Figura 1, na qual é compulsória a

apresentação de um plano de voo para toda aeronave que intencione ingressar na área. Para a vigilância da ZIDA, são empregadas três Bases Aéreas localizadas em posições estratégicas próximas às fronteiras (Campo Grande/MS, Porto Velho/RO e Boa Vista/RR), que se revestem de extrema importância no combate a tráfegos ilícitos [5]. Aeronaves detectadas no espaço aéreo sem a devida autorização estão sujeitas à interceptação por caças A-29 Super Tucano e à aplicação das medidas progressivas de policiamento [1].

As Ações de Força Aérea constituem conjuntos coordenados de operações táticas que articulam meios aéreos e sistemas para alcançar objetivos estratégicos [1]. No âmbito do Policiamento do Espaço Aéreo (PEA), tais ações compreendem a detecção, o acompanhamento e a eventual neutralização de tráfegos ilícitos [6]. A doutrina da FAB diferencia a Ação de Alerta em Voo (ALEVOO), que mantém meios em pronta disposição, da Ação de Alerta na Base (ALEBAS), que mobiliza recursos a partir de pontos terrestres predefinidos [6][17][18].

B. O Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC)

O Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC) foi formalizado por Church e ReVelle [4][15][16] como uma evolução do *Location Set Covering Problem* (LSCP). O modelo foi concebido para cenários em que os recursos são insuficientes para garantir a cobertura de toda a demanda, situação comum no planejamento de serviços públicos e em operações de grande escala. Em vez de exigir que 100% da demanda seja atendida, o PLMC busca maximizar o número de pontos de demanda cobertos, dado um número fixo p de facilidades a serem instaladas e um raio máximo de serviço S [4]. Conforme descrito por Arakaki [7], o modelo seleciona locais para instalar facilidades de modo a cobrir o maior número possível de pontos de demanda.

A aplicabilidade do PLMC, definido pelas equações (1), (2), (3) e (4), em cenários onde a priorização de áreas críticas é mais viável que a cobertura total justifica sua escolha para este estudo.

$$\text{Max } Z = \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (1)$$

$$\text{S.A. } \sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i, \forall i \in I, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p, \quad (3)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J; y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I. \quad (4)$$

Onde:

I é o conjunto dos pontos de demandas;

J é o conjunto de pontos candidatos;

P é o número máximo de facilidades a se instalar;

$N_i = \{j : d_{ij} \leq S\}$ agrupa os candidatos capazes de cobrir o ponto i dentro de um raio S ;

$x_j = 1$ indica que a facilidade j foi instalada ;

$y_i = 1$ indica que a demanda i ficou coberta.

Sendo que a função objetivo busca maximizar a soma da população coberta. A primeira restrição estabelece que um ponto de demanda i só pode ser considerado coberto se ao menos uma facilidade j for alocada em um local que esteja dentro da distância de serviço S daquele ponto. A segunda restrição limita o número total de facilidades a serem alocadas ao valor p [4]. A solução do PLMC, portanto, não apenas identifica o conjunto ótimo de locais para as p facilidades, mas também quantifica a parcela da demanda que pode ser efetivamente coberta com os recursos disponíveis.

A aplicabilidade do PLMC em cenários onde a priorização de áreas críticas é mais viável que a cobertura total justifica sua escolha para este estudo. Aplicações anteriores em contextos militares, como na identificação de aeródromos para interceptação de tráfegos ilícitos [8] e no posicionamento de esquadrões na Amazônia [9], corroboram a adequação do modelo. Neste trabalho, a limitação de aeronaves A-29 disponíveis e a necessidade de maximizar a presença de interceptação em pontos estratégicos da fronteira brasileira tornam o PLMC a ferramenta de otimização ideal.

III. MATERIAL E MÉTODO

Este estudo teve como objetivo identificar as melhores localizações para sobrevoo de aeronaves de alerta, visando otimizar a cobertura de áreas estratégicas e rotas de interesse. Para tanto, foram desenvolvidos e aplicados dois métodos distintos, empregando o software RStudio (versão 2025.05.0 Build 496) para as simulações e análises espaciais, e o pacote lpSolve (versão 5.6.23) para a resolução dos problemas de programação linear. Outros pacotes do ambiente R, como sf (versão 1.0-19), geosphere (versão 1.5-20), dplyr (versão 1.1.4), rnatuarearth (versão 1.0.1) e leaflet (versão 2.2.2) foram utilizados para manipulação de dados geoespaciais, cálculos de distância e visualização.

O estudo utilizou dados geoespaciais do território brasileiro e de países vizinhos para a criação de rotas simuladas (linhas azuis) e áreas de demanda (polígonos). As rotas foram geradas aleatoriamente através de pontos próximos à fronteira seca do Brasil (em países vizinhos e dentro do Brasil), com distância de 300 milhas náuticas (555,6 quilômetros) entre seu início (pontos verdes) e fim (pontos vermelhos), de modo que seu ponto final estivesse obrigatoriamente em território nacional. A angulação máxima permitida na simulação foi de 45° para ambos os lados a fim de favorecer a aleatoriedade e possíveis variações dentro do território nacional. Os polígonos pré-definidos para as áreas de demanda foram baseados em três áreas: Sul, Oeste e Norte. Tais áreas foram criadas de maneira arbitrária pelo autor de maneira a dividir a fronteira nacional em três partes que, obrigatoriamente, estivessem cobrindo as rotas simuladas inicialmente. A capacidade de cobertura de cada aeronave foi considerada como um raio de 200 milhas náuticas ou 370,4 quilômetros [1], e de acordo com a autonomia da aeronave prevista em manual do fabricante.

Em seguida, foram adicionados os aeródromos de recolhimento das Aeronaves A-29 (pontos amarelos), situados nas Bases Aéreas de Campo Grande, Porto Velho e Boa Vista (coordenadas geográficas: -20.470020, -54.673977 ; -8.708457, -63.902332; 2.846484, -60.689507, respectivamente).

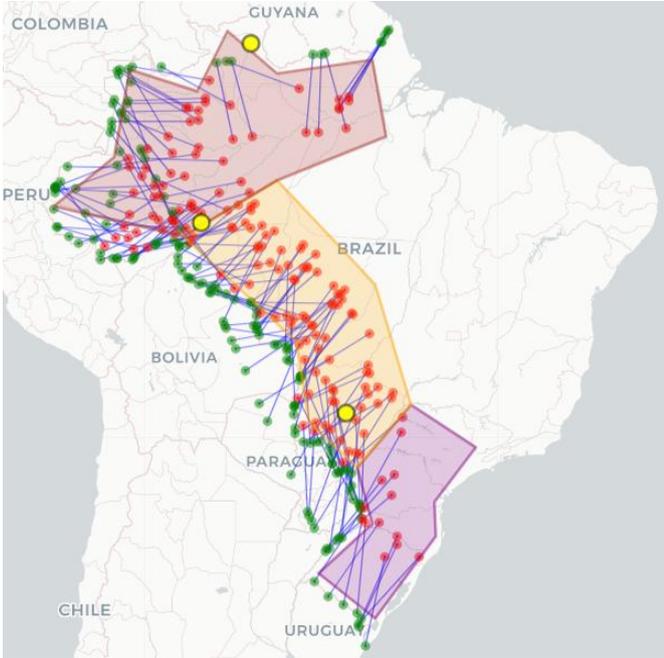


Figura 2 - Área criada em ambiente R com rotas simuladas e polígonos.

Método 1: Otimização da cobertura de áreas (polígonos S, N e O).

Para resolver o Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC) adotamos uma abordagem totalmente implementada em R, com uso do solver lpSolve para garantir a obtenção de uma solução inteira ótima. Inicialmente, configurou-se o ambiente de trabalho e carregaram-se os pacotes necessários (sf, geosphere, lpSolve e dplyr), assegurando a manipulação de geometrias espaciais e o cálculo preciso de distâncias geodésicas.

O primeiro método concentrou-se na análise da cobertura de áreas a partir de pontos de demanda gerados aleatoriamente e igualmente espaçados pelos 3 polígonos, conforme apresentado na Figura 2.

Conforme citado anteriormente, com as rotas simuladas pré-definidas, foram criados polígonos de possíveis áreas de interceptação para tais rotas de maneira a delimitar os pontos de demanda. 2596 pontos foram distribuídos nos polígonos e compilados em um dataframe de pontos de demanda, com as informações de latitude e longitude de cada ponto, o que permite a resolução computacional do problema, veja a Figura 3. Foram criados também 200 pontos candidatos dentro dos polígonos selecionados, que representam os possíveis pontos de sobrevoos, de maneira a facilitar a execução do código.

A etapa seguinte consistiu em calcular a matriz binária de cobertura “A”, baseada no alcance operacional de 200 NM da aeronave A-29 (convertido para metros). Para cada ponto de demanda – candidato, computou-se a distância Haversine, de acordo com as equações (5), (6) e (7), utilizada para calcular a menor distância entre dois pontos na superfície de uma esfera [11], dados suas latitudes e longitudes, e atribuiu-se valor 1 sempre que essa distância fosse menor ou igual ao raio de serviço, e 0 caso contrário.

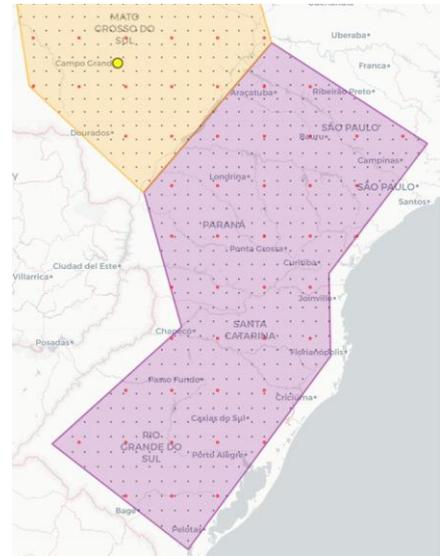


Figura 3 - Pontos de demanda (preto) X e pontos candidatos (vermelhos).

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right), \quad (5)$$

$$c = 2 \cdot \arctan\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right), \quad (6)$$

$$d = R \cdot c. \quad (7)$$

Onde:

- φ_1 e φ_2 = latitudes dos pontos 1 e 2 (em radianos);
- λ_1 e λ_2 = longitudes dos pontos 1 e 2 (em radianos);
- $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$;
- $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$;
- R = raio da Terra (aproximadamente 6371 km).

Com os dados sintéticos prontos, configurou-se o modelo de programação inteira mista utilizando: variáveis binárias x_j para indicar a instalação de base em cada candidato e y_i para sinalizar se cada ponto de demanda está coberto; função-objetivo de maximizar $\sum_i y_i$; restrições que asseguram que toda demanda só será considerada coberta se houver ao menos um ponto de sobrevoos a até 200 NM; e o limite de $p=3$ pontos de sobrevoos ativos.

Por fim, executou-se o solver lpSolve, extraiu-se as variáveis de decisão (x_j, y_i) e obteve-se a configuração ótima

de pontos de sobrevoo, acompanhada da quantidade máxima de pontos cobertos. Os resultados foram validados espacialmente por meio de mapas, corroborando a eficácia do PLMC clássico de Church e ReVelle [4] na alocação estratégica de recursos sob restrição de quantidade de bases. Por fim, as coordenadas selecionadas como pontos de facilidade ideais são os pontos ideais de sobrevoo das aeronaves de alerta para a cobertura em área, extraídas e plotadas graficamente no RStudio.

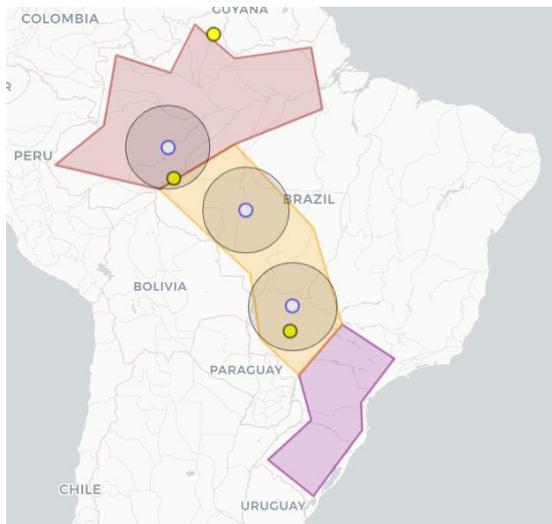


Figura 4 - Pontos de sobrevoo com 3 aeronaves. Cobertura: 35.90% da área.

Para a alteração no número de aeronaves, basta ajustarmos no campo definição de parâmetros o novo número escolhido para o parâmetro “*p*”. Com 6 aeronaves, cobrimos 1720 pontos de demanda de 2596, o que em porcentagem nos fornece 67.10% da área dos 3 polígonos (200 NM de alcance), conforme pode ser observado nas Figuras 4 e 5.

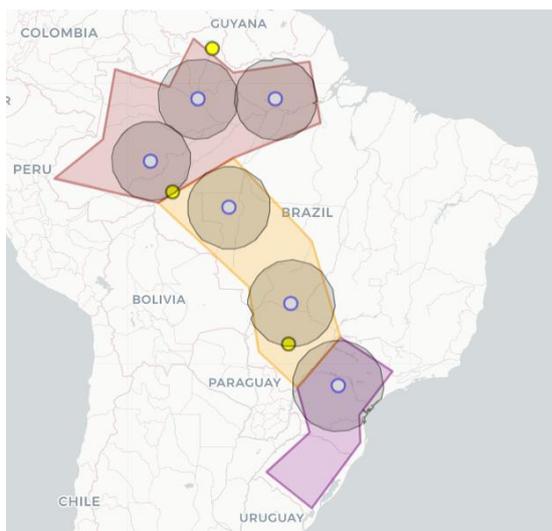


Figura 5 - Pontos de sobrevoo com 6 aeronaves. Cobertura: 67.10% da área.

Método 2: Otimização da Cobertura por rotas simuladas.

Em contraste com a abordagem de áreas, o segundo método adotado representa uma evolução conceitual na modelagem da demanda, buscando maior fidelidade à realidade operacional. Esta abordagem se inspira diretamente no trabalho de Viana [1], que focou na cobertura de rotas de tráfego suspeito. A premissa fundamental é que a ameaça não se distribui de forma homogênea em uma área, mas concentra-se ao longo de corredores (rotas) de voo específicos. A representação da demanda como trajetórias lineares, em oposição a pontos dispersos, é uma variação robusta na modelagem de problemas de cobertura [10] e se alinha perfeitamente ao desafio de interceptar alvos móveis [5].

Para a implementação, foi desenvolvida uma função em R, denominada `create_route()`, com o propósito de discretizar as trajetórias de voo contínuas em um conjunto de pontos de demanda manejáveis pelo PLMC. A função processa cada segmento das rotas simuladas e interpola pontos de demanda ao longo das rotas. O resultado é uma malha de pontos que simula a distribuição espacial da ameaça ao longo dos eixos de interesse, representando o deslocamento da aeronave suspeita. A fim de garantir a validade territorial, todos os pontos gerados foram submetidos a um filtro geoespacial, utilizando a função `st_intersection` do pacote `Sf`, que assegura que apenas pontos estritamente dentro do polígono geográfico do Brasil, veja a figura 6, fossem incluídos no conjunto final de demanda.

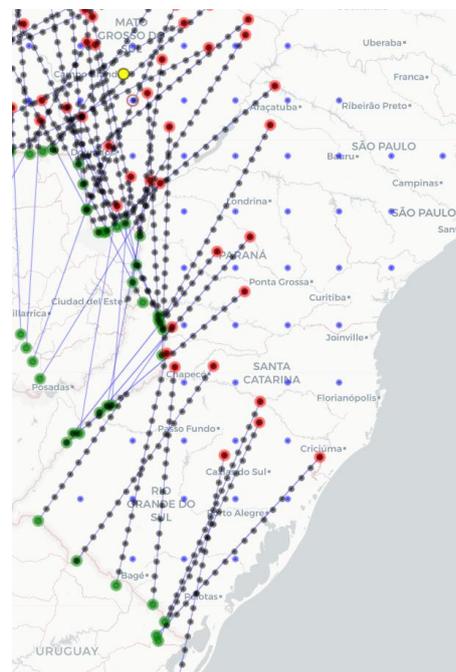


Figura 6 - Pontos de demanda em rota (pretos) X pontos candidatos (azuis).

Uma vez definidos e validados os pontos de demanda sobre as rotas, a etapa de otimização seguiu o mesmo arcabouço do Método 1. Os pontos de demanda e os

pontos candidatos a facilidade foram incorporados ao modelo PLMC, conforme a formulação clássica de Church e ReVelle [4], e a solução ótima foi encontrada por meio do pacote lpSolve. Dessa forma, embora a coerência metodológica com o trabalho de Viana [1] tenha sido mantida, este estudo avança ao integrar a demanda em rotas a um framework comparativo, permitindo uma avaliação direta da eficácia de se alocar pontos de sobrevoo que privilegiem as áreas mais prováveis segundo informações de inteligência.

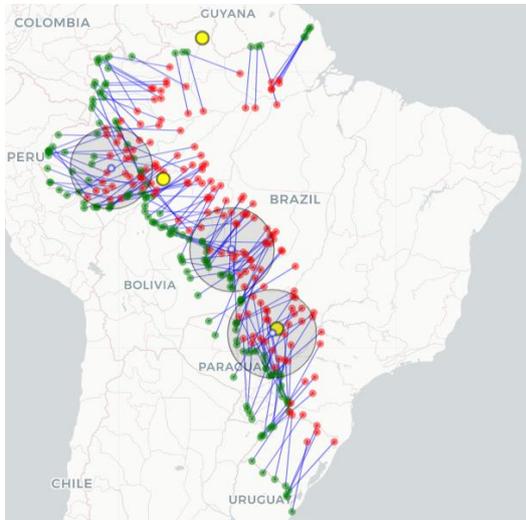


Figura 7 - Pontos de sobrevoo com 3 aeronaves. Cobertura: 50.61% da área.



Figura 8 - Pontos de sobrevoo com 6 aeronaves. Cobertura: 80.16% da área.

De maneira análoga à adição de novos pontos de sobrevoo do Método 1, alteramos o valor de “*p*” para 6 aeronaves, a fim de observar os novos pontos, conforme a figura anterior.

IV. ANÁLISE DE RESULTADOS

A presente seção dedica-se à análise quantitativa e qualitativa dos resultados obtidos através das simulações

computacionais que foram realizadas. Os resultados foram obtidos utilizando a base teórica da literatura de Pesquisa Operacional e extraindo-se suas implicações estratégicas, conforme apresentado na seção anterior. Os resultados observados permitem, a partir dos dois métodos considerados, verificar as implicações estratégicas de cada tipo de alocação de aeronaves. Ou seja, objetivo é avaliar a eficácia das duas estratégias de modelagem de demanda propostas para o Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC), aplicado ao posicionamento de aeronaves A-29.

TABELA I PORCENTAGEM DE PONTOS COBERTOS PELO MÉTODO 1.

<i>Nº de aeronaves</i>	<i>Cobertura Método 1</i>	<i>Ganho marginal</i>
1	12.62%	-
2	24.39%	11.77%
3	35.90%	11.51%
4	46.82%	10.92%
5	57.49%	10.67%
6	67.10%	9.61%
7	76.41%	9.31%
8	82.42%	6.01%
9	88.03%	5.61%
10	92.64%	4.61%
11	96.64%	4%
12	98.05%	1.41%
13	98.95%	0.9%
14	99.45%	0.5%

Os resultados da otimização revelam superioridade do Método 2 sobre o Método 1, conforme sintetizado nas TABELA I e TABELA II. Comparando-se os resultados dessas tabelas, para o caso de alocação de seis aeronaves, a abordagem focada em rotas alcançou uma cobertura de 80,16% dos pontos de demanda, um valor significativamente maior que os 67,10% obtidos pelo procedimento de abordagem por áreas.

TABELA II PORCENTAGEM DE PONTOS COBERTOS PELO MÉTODO 2.

<i>Nº de aeronaves</i>	<i>Cobertura Método 2</i>	<i>Ganho marginal</i>
1	14.25%	-
2	34.47%	20.22%
3	50.61%	16.14%
4	64.29%	13.68%
5	74.96%	10.67%
6	80.16%	5.20%
7	85.51%	5.35%
8	90.06%	4.55%
9	92.75%	2.69%
10	95.18%	2.43%
11	96.91%	1.73%
12	98.30%	1.39%
13	99.03%	0.73%
14	99.45%	0.42%

Observa-se que a adição das primeiras aeronaves resulta em ganhos de cobertura maiores, porém o ganho marginal diminui de maneira consistente tanto no Método 1 como no Método 2 a medida que novas aeronaves são adicionadas para realizar a cobertura da área de fronteira seca do Brasil. Este comportamento, também evidenciado pela simulação de Miranda [5], é de suma importância para o tomador de decisão, pois permite uma análise de custo-benefício, ponderando o alto custo de um ativo militar frente a um ganho de cobertura residual.

Embora o Método 2 seja superior, ver TABELA II, com poucos recursos, é teoricamente esperado que essa vantagem diminua à medida que o número de pontos de sobrevoo se aproxima da cobertura total. Nesse estágio de saturação, as curvas de desempenho de ambos os modelos tendem a convergir. A distinção crítica, portanto, não reside na cobertura máxima, mas na eficiência com que cada método atinge altos níveis de cobertura, um fator chave para a otimização de recursos de defesa.

Por fim, cumpre notar que o PLMC é um modelo determinístico. Uma rica avenida para trabalhos futuros seria a incorporação de incertezas, como a probabilidade de uma aeronave estar indisponível ou uma Base Aérea não ser capaz de fornecer apoio para as operações, restringindo assim os pontos candidatos. O *Maximum Expected Covering Location Model* (MEXCLP), proposto por Daskin [12][13][14], oferece um arcabouço teórico consolidado para tratar essa estocasticidade, permitindo a geração de soluções ainda mais próximas à realidade. Outro fator de possíveis alterações diz respeito ao raio de ação da aeronave em questão para o cálculo da área que é possível ser coberta, de modo que diferentes configurações de consumo de combustível ou diferentes velocidades de cruzeiro, podem aumentar ou diminuir o raio de alcance.

V. CONCLUSÕES

Os objetivos propostos nesta pesquisa foram plenamente alcançados ao se comparar duas abordagens de modelagem para a alocação de aeronaves de defesa.

Esse estudo utilizou uma abordagem baseada em rotas simuladas, permitindo avaliar e reforçar a importância da integração de dados de inteligência no planejamento estratégico, proporcionando um entendimento procedimental de que as operações sejam direcionadas para áreas de maior probabilidade de tráfico ilícito. Dessa forma, a pesquisa não apenas valida um modelo matemático, mas oferece uma ferramenta de apoio à decisão, capaz de otimizar o planejamento tático e estratégico da Força Aérea Brasileira.

Constatou-se que a metodologia fundamentada em rotas de voo específicas, informadas pela inteligência, apresenta eficácia superior àquela baseada em áreas geográficas genéricas. A superioridade do método reside em sua capacidade de traduzir a inteligência operacional em uma representação de demanda mais verossímil, garantindo que os recursos limitados sejam direcionados às áreas de maior probabilidade de atuação ilícita.

A metodologia aqui proposta pode ser adaptada para outras regiões ou contextos operacionais, como

monitoramento de fronteiras marítimas ou áreas de conflito, sendo que a disponibilidade de dados reais pode confirmar a utilidade e validade do modelo implementado. Isso pode ser estendido para outras operações de defesa e segurança pública que dependam de informações dinâmicas em tempo real.

REFERÊNCIAS

- [1] VIANA, J. L. V. da C. J.; SILVA, A. C. S. da; SOUZA, Y. L. de. Alocação de A-29 na fronteira seca do Brasil para missões de interceptação. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Operacional) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2024.
- [2] BRASIL. Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 1986.
- [3] BRASIL. Decreto nº 5.144, de 16 de julho de 2004. Regulamenta os procedimentos a serem seguidos com relação a aeronaves hostis ou suspeitas de tráfico de substâncias entorpecentes e drogas afins. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2004.
- [4] CHURCH, R.; REVELLE, C. The Maximal Covering Location Problem. *Papers of the Regional Science Association*, v. 32, p. 101-118, 1974.
- [5] MIRANDA, R. dos R. M. B. Problema de cobertura de alvos móveis: um estudo de caso de localização de aeródromos na fronteira do Brasil. 2025. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2025.
- [6] BRASIL. Ministério da Defesa; Comando da Aeronáutica. Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira - DCA 1-1. 2020.
- [7] ARAKAKI, R. G. I.; LORENA, L. A. N. Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades. *Produção*, v. 16, n. 2, p. 319-328, 2006.
- [8] GAZOLA, M. G.; SOUZA, Y. L. de. Identificação de Aeródromos para Cobertura de Rotas Ilícitas Priorizadas em Missões de Interceptação Aérea. *Spectrum - Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa*, v. 1, p. 4-9, 2023.
- [9] SANTOS, R. P. dos; MÜLLER, C. Problema de Localização de Máxima Cobertura aplicado à localização de esquadrões de interceptação na Região Amazônica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 38., 2006, Goiânia. Anais... Goiânia: SBPO, 2006.
- [10] CHEN, H.; MURRAY, A. T.; JIANG, R. Open-source approaches for location cover models: capabilities and efficiency. *Journal of Geographical Systems*, v. 23, p. 361-380, 2021.
- [11] KABIR, M. H.; RUMAN, U.; ALAM, S. et al. Approximate Shortest Distance and Direction between two Places on the Spherical Earth and the Oblate Spherical Earth. *GUB Journal of Science and Engineering*, v. 8, n. 1, p. 49-56, 2022.
- [12] DASKIN, M. S. A Maximum Expected Covering Location Model: Formulation, Properties and Heuristic Solution. *Transportation Science*, v. 17, n. 1, p. 48-70, 1983.
- [13] DASKIN, M. S. *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.
- [14] FARAHANI, R. Z.; HEKMATFAR, M. *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Heidelberg: Springer, 2009.
- [15] LI, X.; ZHAO, Z.; ZHU, X.; WYATT, T. Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: A review. *Mathematical Methods of Operations Research*, v. 74, n. 3, p. 281-310, 2011.
- [16] MURRAY, A. T. Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. *Journal of geographical systems*, v. 12, p. 335-354, 2010.
- [17] BELL, J. E.; GRIFFIS, S. E. Military applications of location analysis. *Applications of location analysis*, p. 403-433, 2015.
- [18] ÇAYIRCI, E.; ÖZÇAKIR, L. Modeling and simulation support to the defense planning process. *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, v. 14, n. 2, p. 171-180, 2017.