



Análise Operacional e Engenharia Logística: Apoio à Decisão

## Identificação de Aeródromos para Cobertura de Rotas Ilícitas Priorizadas em Missões de Interceptação Aérea

### Identification of Airfields for Coverage of Prioritized Illicit Routes in Air Interception Missions

Mauro G Gazola<sup>1,2</sup>, Ygor Logullo de Souza<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil<sup>2</sup>Instituto de Aplicações Operacionais (IAOP), São José dos Campos/SP – Brasil

#### Article Info

##### Article History:

Received	05 May	2023
Revised	25 July	2023
Accepted	22 August	2023
Available online	22 September	2023

##### Palavras Chave:

**Problema de localização de máxima cobertura**  
**Método exato**  
**Método heurístico**

##### Keywords:

**Maximum coverage location problem**  
**Exact method**  
**Heuristic method**

##### E-mail addresses:

[mauromggs@fab.mil.br](mailto:mauromggs@fab.mil.br) (Mauro G Gazola)

[logulloys@gmail.com](mailto:logulloys@gmail.com) (Ygor Logullo de Souza)

#### Resumo

O tráfico internacional de entorpecentes, problemática constante na sociedade brasileira, exige dos órgãos governamentais o aprimoramento de capacidades operativas, racionalização de recursos e expansão do potencial repressivo. Nesse contexto, estudos no campo da Pesquisa Operacional, no âmbito da Força Aérea Brasileira, ganham destaque no desenvolvimento de técnicas para aumentar a efetividade das ações de combate aos ilícitos transfronteiriços. Este estudo tem como objetivo modelar um Problema de Localização de Máxima Cobertura, identificando aeródromos de apoio às aeronaves A-29 Super Tucano, de modo a priorizar a cobertura de rotas ilícitas simuladas com as maiores probabilidades de ocorrência. Por meio de um Método Exato e um Método Heurístico, chegou-se à constatação de que 3 aeródromos de apoio seriam suficientes para proporcionar a cobertura de 76,66 % das rotas suspeitas, sendo, pois, as rotas cobertas consideradas as com maiores potenciais de combate ao tráfico de ilícitos na região abordada pelo estudo.

#### Abstract

The international traffic in narcotics, a constant problem in Brazilian society, requires government agencies to improve operational capacities, rationalize resources and expand repressive potential. In this context, studies in the field of Operational Research, within the scope of the Brazilian Air Force, gain prominence in the development of techniques to increase the effectiveness of actions to combat cross-border crimes. This study aims to model a Maximum Coverage Location Problem, identifying support airfields for the A-29 Super Tucano aircraft, in order to prioritize the coverage of simulated illicit routes with the highest probability of occurrence. Through an Exact Method and a Heuristic Method, it was found that 3 support airfields would be sufficient to provide coverage for 76.66% of the suspected routes, therefore, the routes covered were considered to have the greatest potential for combating illicit trafficking in the region covered by the study.

## I. INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações da sociedade brasileira é o combate ao narcotráfico nas fronteiras internacionais do país. Entre os diversos órgãos governamentais responsáveis pela repressão, destaca-se a FAB, que possui, no rol de suas ações, o Policiamento do Espaço Aéreo, cujos principais objetivos são detectar, identificar e neutralizar tráfegos aéreos ilícitos que ingressam no território nacional [6].

Para o cumprimento dessas ações, a FAB utiliza o EMB-314, A-29 Super Tucano, aeronave de caça responsável pelas interceptações dos tráfegos suspeitos, normalmente aeronaves de baixa performance oriundas de países vizinhos. Por meio dessas ações, que se desenvolvem de modo integrado com órgãos de Segurança Pública e de Controle do Espaço Aéreo, é possível implementar medidas de intervenção e persuasão com o objetivo de compelir as aeronaves suspeitas a pousarem em aeródromos designados,

a fim de serem submetidas às averiguações das autoridades policiais [7].

Considerando que a fronteira seca do Brasil (fronteiras naturais ou políticas com outras nações) alcança a ordem de 16.000 Km de extensão [8], o monitoramento e a interceptação de tráfegos ilícitos que cruzam esses limites constituem atividades de alta complexidade e que se relacionam intensamente com a capacidade de preservação dos interesses nacionais [5].

Desta forma, uma ação efetiva de repressão aos ilícitos transfronteiriços exige, entre outras medidas de inteligência estratégica [10], o registro e a análise das rotas com maiores incidências, permitindo-se conceber parâmetros probabilísticos associados a esses pontos de interesse e alocar os meios de interceptação em aeródromos predeterminados para possibilitar a cobertura das áreas (rotas) consideradas fundamentais nesse combate.

Nesse sentido, este estudo objetiva abordar um Problema de Localização de Máxima Cobertura, com a finalidade de identificar um subconjunto de aeródromos de apoio para as aeronaves A-29, obtendo-se a cobertura dos pontos

geográficos de interesse nas rotas suspeitas (ponto médio das rotas) com as maiores probabilidades de ocorrência. Para isso, utilizou-se um Método Exato de resolução e um Método Heurístico, considerando-se como restrições o alcance útil dessas aeronaves para a execução de uma típica missão de interceptação aérea (hipotético a fim de se manter escaracterizados dados operacionais com restrição de acesso) e um determinado quantitativo de aeródromos.

Referida modelagem de problemas de localização tem como fundamento a maximização da cobertura de serviços desejados a partir de uma quantidade fixa de instalações [9], sendo, pois, um tipo de aplicação amplamente explorado em questões militares.

Neste estudo, algumas particularidades dessa modelagem foram adaptadas para proporcionar mais aderência às capacidades operacionais da FAB, como a fixação de 3 bases de apoio e o estabelecimento de um raio de alcance útil da aeronave para o cumprimento das missões com respeito às regras de segurança de voo [14]. Ademais, no que tange aos fatores probabilísticos das rotas consideradas suspeitas, representativos da importância da cobertura, foram arbitrados valores aleatórios para não se comprometer o caráter sigiloso de dados sensíveis de inteligência.

Como ferramentas computacionais de apoio, foram utilizados o *software* QGIS, Sistemas de Informações Geográficas [12], por meio do qual foram simuladas as rotas suspeitas com históricos de incidência e adquiridas suas geolocalizações, e o *software* estatístico R, para a implementação das rotinas de cálculos e condução das análises.

Com a finalidade de centralizar os termos utilizados neste estudo, é exposto um glossário, conforme a Tabela I.

TABELA I: GLOSSÁRIO

A-29	Aeronave EMB - 314 Super Tucano
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
EAS	Equipamentos de Apoio no Solo
FAB	Força Aérea Brasileira
NM	Milhas Náuticas
PCN	Número de Classificação do Pavimento de aeródromos
PLMC	Problema de Localização de Máxima Cobertura
QAV-1	Querosene de aviação
QGIS	<i>Software</i> de informações geográficas Quantum Gis

O estudo está organizado em cinco seções. A primeira compõe-se da Introdução, onde são explanados a motivação, o escopo e o objetivo do estudo, assim como exposto um glossário. Na segunda, exploram-se os fundamentos teóricos, apresentando os conceitos relacionados à modelagem de problemas, à formulação matemática de um PLMC e à heurística aplicada ao problema em apreço. Na terceira, uma aplicação simulada é desenvolvida em uma determinada região do país. Na quarta, são apresentados os resultados, engendradas discussões relativas aos Métodos Exato e Heurístico, assim como abordadas implicações práticas para a força. E, por último, apresentam-se a conclusão e as perspectivas de expansão do estudo.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### A. Modelagem

Modelar problemas significa representar de forma simplificada um sistema real, existente ou projetado para ser implementado. Em Pesquisa Operacional, a modelagem facilita os processos decisórios, pois permite a experimentação prévia da solução proposta, a condução das avaliações e as eventuais correções [13].

Um modelo de otimização onde se busca maximizar ou minimizar uma resposta esperada compõe-se de quatro elementos básicos: variáveis de decisão, parâmetros, restrições e função objetivo. As variáveis de decisão são os valores desconhecidos que serão determinados na solução, os parâmetros representam valores fixos previamente conhecidos, as restrições são as limitações do sistema, normalmente físicas, e, por fim, a função objetivo é uma expressão matemática cujo valor pretende-se maximizar ou minimizar, como solução do problema [2].

### B. Formulação matemática do PLMC – Método Exato

Uma formulação para este estudo poderia ser feita por meio de um Problema de Cobertura de Conjuntos, em que se objetiva minimizar o número de aeródromos de modo que todas as rotas fossem cobertas, obrigatoriamente. Entretanto, limitações de ordem prática se impõem a esse tipo de formulação, como a falta de recursos para ativar-se os aeródromos necessários para que todas as rotas sejam cobertas, apresentando, pois, certo distanciamento da realidade [14]. Assim, a quantidade de aeródromos passa a ser uma restrição para o problema.

Buscando contornar essa limitação, o PLMC, introduzido por Church e ReVelle (1974) e reformulado por Church e Toregas (1986), agregou conceitos à modelagem de problemas de localização que possibilitaram descrever a realidade de forma mais fidedigna, conferindo mais aderência dos modelos às reais situações [11].

Desta forma, o PLMC tem como objetivo maximizar a cobertura dos pontos de demanda (pontos médios das rotas simuladas) a uma distância pré-determinada (raio útil de ação da aeronave em estudo), localizando, para esse fim, um número específico de facilidades (aeródromos de apoio), conforme descrito a seguir:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{k \in K} (a_k \cdot y_k) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{t \in N_k} x_t \geq y_k, \quad \forall k \in K, \quad (2)$$

$$\sum_{t \in T} x_t \leq P, \quad (3)$$

$$x_t \in \{0,1\} \quad \forall t \in T, \quad (4)$$

$$y_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, e \quad (5)$$

$$N_k = \{t \in T \mid d_{kt} \leq S\} \quad \forall k \in K. \quad (6)$$

Em que:

$a_k$  = fator probabilístico de “bonificação” pela cobertura do ponto de demanda  $k$ , para  $k = 1, \dots, m$ ;

$y_k = 1$ , se o ponto de demanda  $k$  está coberto, 0 caso contrário;

$x_t = 1$ , se o ponto de facilidade  $t$  está ocupado, 0 caso contrário;

$N_k$  = Pontos de facilidade  $t$  que cobrem o ponto de demanda  $k$ ;

$m$  = número total de pontos de demanda;

$K$  = conjunto de pontos de demanda ( $K = \{1 \dots m\}$ );

$n$  = número total de possíveis locais de facilidades;

$T$  = conjunto de pontos candidatos a locais de facilidades ( $T = \{1 \dots n\}$ );

$P$  = número máximo de locais de facilidades que podem ser ocupados;

$S$  = máxima distância de cobertura (raio de cobertura); e

$d_{kt}$  = distância de cada ponto de demanda  $k$  para cada possível ponto de facilidade  $t$ .

A bonificação  $a_k$ , em (1), representa a probabilidade de que no ponto  $y_k$  haja alguma atividade ilícita, sendo  $0 \leq a_k \leq 1$ . Então,  $a_k = 1$  representaria uma situação em que haveria a presença de aeronaves suspeitas no ponto  $y_k$  correspondente, sendo, pois, priorizada a sua cobertura.

Desta forma,  $a_k$ , ao representar um fator probabilístico de atividade ilícita em  $y_k$ , denota a importância de se promover a cobertura da respectiva rota, ou seja, maiores valores de  $a_k$  geram maiores necessidades de se buscar a cobertura dos pontos de demanda correspondentes.

A restrição (2) representa a limitação de cobertura, ou seja, o conjunto de facilidades possíveis,  $t \in T$ , que devem estar condicionadas à área coberta pela distância útil (raio de alcance)  $d_{kt} \leq S$ .

A restrição (3) indica o limite de aeródromos de apoio que podem ser operados pela FAB de forma simultânea. Essa limitação, normalmente, é determinada por restrições logísticas ou orçamentárias.

Neste ponto, convém ressaltar que algumas características dos aeródromos candidatos à facilidade, como suporte logístico e infraestrutura para operação das aeronaves, podem ser acrescentadas ao modelo por meio de uma restrição adicional logística, impondo um padrão mínimo de bonificação como condição de operabilidade [3], entretanto, neste estudo, não foi necessária referida restrição devido ao rol de aeródromos considerados atender, de forma

plena, requisitos adequados de operabilidade no âmbito da FAB.

Por fim, ressalta-se que as rotas de maior importância podem ser cobertas por mais de um aeródromo, ou seja, pode haver repetição na cobertura dos pontos de demanda.

### C. Método Heurístico

O estudo de uma área geográfica pode ser abordado por meio de diversas vertentes, em estudos no campo da otimização, quando configurados grafos para a elucidação e a definição dos problemas que se desejam explorar. Nesse sentido, problemas de localização de facilidades, ao serem elucidados com o apoio desses elementos, configuram-se como problemas de localização-alocação [1].

Neste estudo, especificamente, o algoritmo de localização-alocação desenvolvido escolhe as três facilidades (aeródromos) que cobrem a maior soma de importâncias (fatores probabilísticos de bonificação), aceitando-se a repetição de cobertura dos pontos de demanda.

O fundamento do algoritmo reside em identificar “ $n$ ” centros abertos, constituídos pelos aeródromos a serem utilizados como base de apoio, formando-se, então, “ $n$ ” agrupamentos, compostos pelos centros abertos (aeródromos) e pelos pontos médios das rotas simuladas que se encontrem dentro do raio de ação da aeronave preestabelecido.

Estabelecida, pois, a solução inicial com “ $n$ ” agrupamentos formados, o algoritmo realiza o somatório dos fatores probabilísticos de bonificação de cada ponto de demanda dentro de cada agrupamento. Pretende-se, desta forma, cobrir as rotas que possuam os maiores fatores de probabilidade, ou seja, aquelas com maior importância.

No que tange à possibilidade de repetição de cobertura dos pontos de demanda, teoricamente, isso fará com que as rotas mais importantes sejam cobertas mais de uma vez, como ocorreu na aplicação deste estudo. Entretanto, em problemas similares onde exista um conjunto de dados muito grande, com as rotas e os aeródromos muito dispersos, pode não haver essa duplicidade de cobertura.

Após, o algoritmo executa o ranqueamento desses somatórios calculados, obtendo-se os agrupamentos com os maiores valores dos fatores probabilísticos de bonificação, assim como os respectivos aeródromos de apoio a serem selecionados.

Por meio da lógica exposta, o algoritmo foi aplicado ao PLMC relativo à escolha de aeródromos como base de apoio para maximizar os fatores probabilísticos de bonificação associados aos pontos de demanda (rotas suspeitas simuladas) em determinada região fronteiriça do Brasil.

A Fig. 1 apresenta, então, o framework utilizado neste trabalho. Inicialmente, os dados são gerados pelos órgãos competentes, como por exemplo órgãos de inteligência das forças de segurança pública ou ligados ao controle do espaço aéreo, sendo, então, inseridos no Sistema de Informação Geográfico para serem tratados e representados, o que proporcionará aos decisores e analistas a visualização do problema. Em seguida, o conjunto de dados é processado por meio dos algoritmos descritos, os quais são implementados através de linguagens de programação, como Python ou R.

Por fim, os resultados desse processamento são apresentados de forma gráfica e numérica.

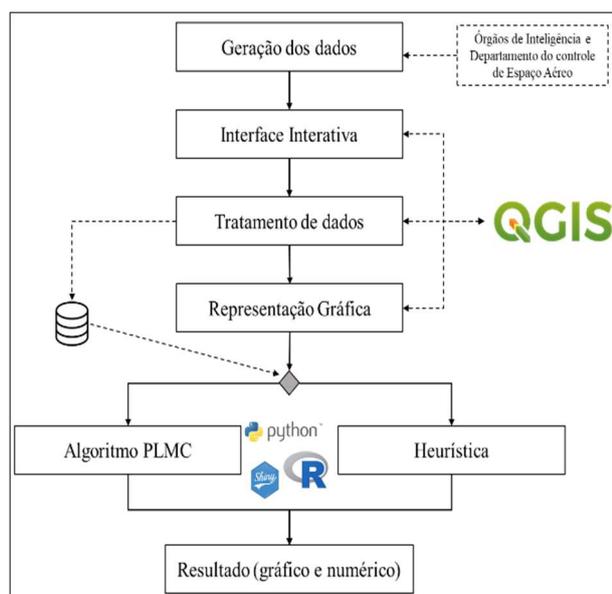


Fig. 1. Esquematisação do *framework* proposto.

### III. APLICAÇÃO

Uma aplicação da modelagem proposta foi desenvolvida na região de fronteira com a Bolívia e o Paraguai, conforme destaque na Fig. 2, simulando-se, no *software* QGIS, 30 rotas consideradas suspeitas de atividades ilegais (pontos vermelhos representativos dos pontos médios das rotas). Ademais, foram elencados 32 aeródromos públicos (banco de dados disponível no site da ANAC) de apoio para as alocações das aeronaves A-29 (pontos azuis).



Fig. 2. Aplicação simulada do PLMC em região de fronteira.

Nesse ponto, convém ressaltar que a operação segura em um aeródromo exige determinados requisitos, tais como:

comprimento mínimo de pista para decolagem dentro dos parâmetros de performance da aeronave, PCN compatível, QAV-1 para reabastecimento, EAS compatível, órgãos de controle de tráfego aéreo, entre outros [4].

Desta forma, atendendo aos requisitos expostos e a fim de descaracterizar informações sobre procedimentos operacionais sensíveis, foram considerados aeródromos públicos próximos às rotas simuladas, conforme disposto na Tabela II.

TABELA II: 32 AERÓDROMOS DE APOIO ÀS AERONAVES A-29.

Localidade	Cód. ICAO	Localidade	Cód. ICAO
Curitiba	SBCT	Campo Grande	SBCG
Cuiabá	SBCY	Bauru-Arealva	SBAE
Bonito	SBDB	Dourados	SBDO
Ji-Paraná	SBJI	Foz do Iguaçu	SBFI
Maringá	SBMG	Londrina	SBLO
Marília	SBML	Cascavel	SBCA
Ponta Grossa	SBPG	Chapecó	SBCH
Pato Branco	SBPO	Pres. Prudente	SBDN
Ponta Porã	SBPP	Corumbá	SBCR
Rondonópolis	SBRD	Araraquara	SBAQ
Sinop	SBSI	Alta Floresta	SBAT
Sorriso	SBSO	Araçatuba	SBAU
S. José do Rio Preto	SBSR	Bacaxeri	SBBI
Toledo	SBTD	Bauru	SBBU
Três Lagoas	SBTG	Barra do Garças	SBBW
Vilhena	SBVH	Caçador	SBCD

No que tange às rotas simuladas, para fins de atribuição dos valores para os fatores probabilísticos de bonificação  $a_k$ , foram gerados números aleatórios por meio de algoritmo específico no *software* estatístico R, conforme dados constantes da Tabela III.

TABELA III: FATORES PROBABILÍSTICOS DE BONIFICAÇÃO.

Rota	$a_k$	Rota	$a_k$
1	0,60211404	16	0,84178515
2	0,19504393	17	0,44744372
3	0,96645873	18	0,96466695
4	0,65090553	19	0,14118707
5	0,36707189	20	0,77671251
6	0,98885921	21	0,8037274
7	0,81519341	22	0,79334595
8	0,25396837	23	0,35756312
9	0,68723085	24	0,05800106
10	0,83142902	25	0,56574614
11	0,10466936	26	0,65900692
12	0,64615091	27	0,10697354
13	0,50909039	28	0,14838386
14	0,70662857	29	0,92775703
15	0,86231366	30	0,4763697

A despeito de o estudo atribuir referidos valores de bonificação de forma aleatória, em termos práticos, esses fatores podem ser concebidos por modelagens de prioridades dos órgãos de Inteligência, levando-se em consideração características indicativas da probabilidade de determinada rota constituir-se objeto de ilícitudes, como considerável fluxo aéreo sem registros de plano de voo, movimentações

de tráfegos a baixa altura, entre outros indícios, conferindo, pois, aderência do modelo à realidade do enfrentamento da problemática [14].

Por fim, fechando o escopo da aplicação, estabeleceram-se o quantitativo de três aeródromos de apoio, como limite de bases que podem ser operadas de forma simultânea, e a máxima distância de cobertura de 200 NM, como raio máximo de atuação da aeronave A-29 em uma missão de interceptação aérea dentro de padrões razoáveis de segurança de voo.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

##### A. Método Exato

Após a implementação, no *software* estatístico R, das rotinas baseadas na formulação matemática exposta no Tópico B da Seção II, obtiveram-se, como resultados, a seleção dos aeródromos SBDB (localizado em Bonito-MS), SBDO (localizado em Dourados-MS) e SBTD (localizado em Toledo-PR) como bases de apoio às aeronaves A-29 e um valor da função objetivo da ordem de 30,426.

No que tange à cobertura das rotas, a Fig. 3 ilustra as áreas abrangidas a partir dos três aeródromos selecionados, assim como as rotas não cobertas.

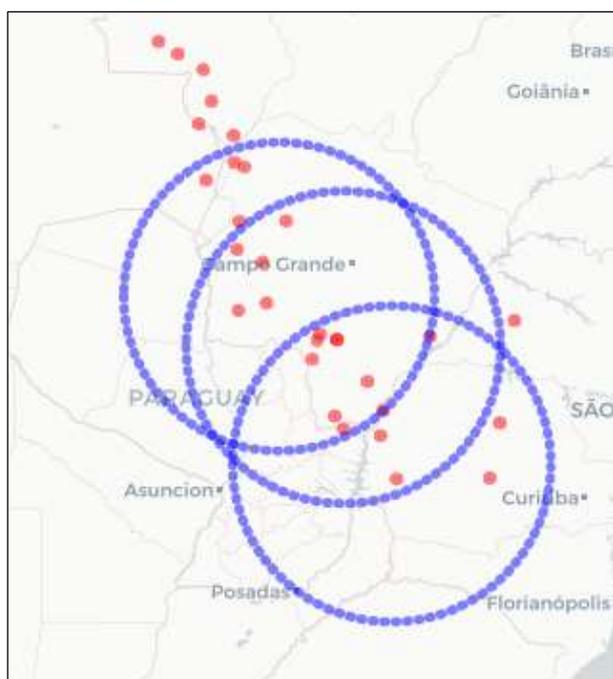


Fig. 3. Área de cobertura a partir dos aeródromos selecionados.

Conforme se constata, os três aeródromos selecionados proporcionaram cobertura a 23 rotas de um total de 30, o que representa um percentual de abrangência de aproximadamente 76,66 % das rotas suspeitas. Entretanto, esse percentual deve ser interpretado com ressalvas, uma vez que o objetivo da modelagem proposta não é necessariamente cobrir a maior quantidade de rotas, porém maximizar a função objetivo, que denota o somatório das probabilidades de que atividades ilícitas ocorram em cada rota considerada.

Desta forma, em termos práticos para a força, uma alocação de aeronaves que executam missões de

interceptação aérea, em uma quantidade restrita de aeródromos, mas de forma eficiente, fundamentada na proposta deste estudo, ou seja, levando em consideração, no processo decisório, os fatores probabilísticos de atividades ilícitas nas rotas consideradas suspeitas, tem potencial para aumentar significativamente a repressão aos tráfegos ilícitos em regiões de fronteira.

##### B. Método Heurístico

A primeira etapa algoritmo proposto constituiu-se de uma rotina para filtrar os aeródromos com distanciamento menor ou igual a 200 NM dos pontos médios das rotas, obtendo-se, assim, 27 centros abertos.

Na etapa seguinte, foi implementado um comando para agregar os pontos médios das rotas aos seus respectivos centros abertos, gerando, pois, 27 agrupamentos.

Com os agrupamentos formados, implementou-se um comando para se realizar o somatório dos fatores probabilísticos de bonificação de cada agrupamento, obtendo-se, como resultado, o disposto na Tabela IV.

TABELA IV:  $\sum$  FAT. PROB. DE BON POR AGRUPAMENTO.

Centro Aberto	$\sum$ Fat. Prob. Bon.	Centro Aberto	$\sum$ Fat. Prob. Bon.
SBAE	0,6872308	SBDO	10,7585539
SBAQ	0,6872308	SBFI	4,5814369
SBAU	1,1963212	SBLO	5,0396659
SBBI	0,9016725	SBMG	8,2462116
SBBU	1,3938594	SBML	1,9029498
SBCA	6,3248945	SBPG	1,8681312
SBCD	1,1615027	SBPO	3,4205497
SBCG	7,3955359	SBPP	9,7920952
SBCH	1,1615027	SBRD	1,3377311
SBCR	5,641782	SBSR	0,6872308
SBCT	0,9016725	SBTD	9,8506442
SBCY	3,6386251	SBTG	1,1963212
SBDB	9,8177734	SBVH	0,1483839
SBDN	3,8781632		

Por fim, implementou-se um comando para ranquear os 27 agrupamentos em termos do referido somatório, obtendo-se, como resultado, a seleção dos aeródromos SBDB, SBDO e SBTD como bases de apoio às aeronaves A-29, com um Fator Probabilístico de Bonificação Total da ordem de 30,426, ou seja, os mesmos resultados alcançados pelo Método Exato.

#### V. CONCLUSÕES

As Ações de Policiamento do Espaço Aéreo, executadas no âmbito da Força Aérea Brasileira, em áreas de fronteira, são permeadas por diversos fatores de ordem operacional, tática e estratégica, exigindo dos planejadores conhecimentos apurados sobre as capacidades operacionais existentes e métodos para se aumentar a efetividade no cumprimento das missões.

Essas aplicações, ao serem abordadas por meio de modelagem de Problemas de Localização de Máxima Cobertura, com adaptações pertinentes ao contexto atual da força, permitiram que fossem extraídas informações relevantes sobre o modo de alocar aeronaves de caça em aeródromos de apoio para priorizar a cobertura das rotas suspeitas com as maiores probabilidades de apresentarem aeronaves executando atividades ilegais.

A solução do problema modelado deu-se por meio de dois métodos, um Método Exato e um Heurístico, obtendo-se, pelo segundo, a confirmação de que três bases de apoio, previamente estabelecidas, seriam suficientes para promover uma significativa cobertura das rotas mais relevantes no combate aos ilícitos.

Convém destacar, neste ponto, que os valores utilizados na atribuição dos fatores probabilísticos de cada rota considerada têm finalidade exclusivamente didática, sendo, pois, necessários estudos estatísticos ligados à área de Inteligência para conferir-se valores mais aderentes à realidade.

Os resultados apresentados têm considerável potencial para subsidiar processos decisórios nos planejamentos das operações e exercícios técnicos da Força Aérea Brasileira, uma vez que têm efeitos diretos sobre elementos considerados essenciais, como a eficiência na aplicação dos recursos bélicos.

Por fim, este estudo pode ser utilizado como base para o desenvolvimento de trabalhos futuros, como a implementação do algoritmo apresentado no Método Heurístico em aplicação específica no *software* GIS, de modo a automatizar a localização de aeródromos de apoio (pontos de facilidade) que proporcionem a cobertura prioritizada de rotas suspeitas ponderadas pelos seus respectivos fatores probabilísticos.

## REFERÊNCIAS

- [1] Arakaki, R. G. I. (2003) “Heurística de localização-alocação para problemas de localização de facilidades”, Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – São José dos Campos: INPE, 2002.
- [2] Arenales, Marcos N. e Colab. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro. 2007.
- [3] Basdemir, M. M. “Locating Search and Rescue Stations in the Aegean and Western Mediterranean Regions of Turkey”, Tese (Mestrado em Pesquisa Operacional) – Ohio: Air Force Institute of Technology, 2000.
- [4] Brasil. ANAC. Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária, SIA. Cálculo de PCN de Pavimentos Aeroportuários usando o COMFAA 3.0. 2020.
- [5] Brasil. Ministério da Defesa; Comando da Aeronáutica. DCA 11-45. Concepção Estratégica, Força Aérea 100, 2018.
- [6] Brasil. Ministério da Defesa; Comando da Aeronáutica. Portaria nº 1.225/GC3, de 10 de novembro de 2020. DCA 1-1 “Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira - Volume 2, 2020.
- [7] Brasil. Decreto Nº 5.144, de 16 de julho de 2004.
- [8] Brasil. Segunda Comissão Brasileira Demarcadora de Limites (SCDL). Ministério das Relações Exteriores. [http://scdl.itamaraty.gov.br/pt-br/fronteiras\\_da\\_scdl.xml](http://scdl.itamaraty.gov.br/pt-br/fronteiras_da_scdl.xml). 2020
- [9] Church, R.; Reville, C. The Maximal Covering Location Problem. Papers of the Regional Science Association, v. 32, p. 101-118, 1974.
- [10] Escola Superior De Guerra. Fundamentos do Poder Nacional. Rio de Janeiro, 2020.
- [11] Garcia, R. A.; Neto P. B.; Pontin V. M.; Análise de Modelos Matemáticos para o Problema Probabilístico de Localização-Alocação De Máxima Cobertura. XXIX Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Salvador, Ba, Brasil, 2009.
- [12] Gil, M.; Frackiewicz, P. Optimization of The Location of Observation Network Points In Open-Pit Mining’s. 26th Geographic Information Systems Conference and Exhibition “Gis Odyssey 2019” conference proceedings, Polónia, 2019.
- [13] Lisboa, E. F. A. Pesquisa Operacional. Disponível em: [https://www.academia.edu/15124674/apostila\\_do\\_curso\\_pesquisa\\_operacional?auto=download](https://www.academia.edu/15124674/apostila_do_curso_pesquisa_operacional?auto=download)
- [14] Santos, R.P.; Müller, C. Problema de localização de máxima cobertura aplicado à localização de esquadrões de aeronaves de interceptação na região amazônica. XXXVIII Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 15 set. 2006.