

OTIMIZAÇÃO DO TRANSPORTE DE PASSAGEIROS POR HELICÓPTEROS EM OPERAÇÕES OFFSHORE

Gustavo Valério Mendes
Luiz Antônio Silveira Lopes
Orivalde Soares da Silva Júnior
Instituto Militar de Engenharia
Engenharia de Transportes

RESUMO

O transporte de pessoas para unidades marítimas *offshore* por meio de helicópteros impõe um grande desafio para a indústria petrolífera. Além do aspecto da segurança, a minimização dos custos, especialmente pela redução das horas voadas, se apresenta como um fator de sucesso. Isso se mostra cada vez mais verdadeiro na Bacia de Campos do Brasil, alvo do estudo, que movimenta mais de 500 mil passageiros por ano e que tem atraído cada vez mais empresas estrangeiras. Esta dissertação propõe um modelo de otimização para essa operação, buscando responder quais helicópteros de cada base deverão realizar quantos voos semanais para atender a demanda de cada uma das unidades marítimas. A partir de uma simplificação do modelo final, já foram obtidos alguns resultados preliminares mostrando o grande potencial de uma base se suas restrições fossem reduzidas e espera-se que sejam obtidas soluções fidedignas à realidade com o uso de otimização robusta posteriormente.

1. PROPOSTA DA PESQUISA

O transporte de pessoas que trabalham em unidades marítimas e que precisam ir e vir ao continente possui especificidades que trazem um nível de complexidade significativo para o planejamento e execução dessas operações.

Este estudo tem como tema a otimização dos custos variáveis de hora voada pelos helicópteros que atuam na Bacia de Campos, visando demonstrar que a otimização em nível tático e operacional das operações de transporte aéreo conduz a uma redução de custos e de exposição da força de trabalho ao intrínseco risco de voar. A rede logística analisada possui 3 bases aeroportuárias terrestres, 59 unidades marítimas, 3 modelos diferentes de helicópteros, sendo 2 de médio e 1 de grande porte e uma quantidade variável de helicópteros por base.

A função objetivo do problema é a minimização do custo das horas de voos necessárias para atender a demanda regular de passageiros de cada unidade marítima, respeitando restrições como limite de horas voadas por helicóptero, limite de voos por base, restrição de pouso em *helidecks* e, dependendo do cenário, restrições de frota de helicópteros por base.

Foi considerado um horizonte de tempo semanal pelo fato de ser o menor período de tempo que os voos regulares se repetem, tendo em vista a escala de trabalho quinzenal da maioria dos trabalhadores embarcados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muitos pesquisadores já observaram a importância, complexidade e possibilidade de ganhos das operações realizadas por helicópteros que atendem unidades *offshore*. Qian et al. (2011) que relatam que o transporte por helicópteros representa um dos maiores riscos para os empregados que trabalham *offshore* e por Abbasi-Pooya et al. (2017) que comentam que muitas unidades *offshore* requerem transporte diário de trabalhadores por helicópteros, o que impõe significativos custos operacionais para empresas de óleo e gás.

Estudos realizados no Brasil demonstram também a relevância de estudos sobre essas

operações no país. Segundo Hermeto et al. (2014), a demanda de transporte de passageiros para unidades marítimas no Brasil vai aumentar e vai se tornar mais complexa à medida que a distância média entre os campos do pré-sal e a costa brasileira aumenta, e que o helicóptero é o mais eficiente meio de transporte em termos de velocidade e segurança.

Há quase 30 anos atrás, já havia publicações sobre essas operações, justamente sobre a Bacia de Campos. Galvão e Guimarães (1990) discutem a concepção e implementação de um sistema informatizado para controlar operações *offshore* de helicóptero no Brasil, concentrando-se em um algoritmo interativo projetado para rotear os helicópteros. Não muito distante, Moreno et al. (2006) apresentam um algoritmo heurístico baseado em geração de colunas para o problema de planejamento de voos de helicópteros, para atendimento às solicitações de transporte entre aeroportos e plataformas *offshore*.

Assim como Galvão e Guimarães (1990) e Moreno et al. (2006), há diversos autores por todo o mundo discutindo propostas para a roteirização de helicópteros *offshore*, muitos deles trabalhando no modelo conhecido como *Capacitated Helicopter Routing Problem (CHRP)*, uma derivação do *Vehicle Routing Problem (VRP)*. Qian et al. (2011) se baseiam na análise de acidentes de helicópteros para propor um modelo matemático que pode auxiliar no planejamento de rotas da frota, de forma a minimizar o número esperado de mortes.

Entretanto, nesse ínterim, a empresa de óleo e gás analisada estabeleceu como premissa para a definição da tabela regular de voos, a não realização de pouso em mais de uma unidade marítima, transformando o problema de roteamento em problema do transporte. Vale lembrar que as etapas mais críticas para a segurança de um voo são a decolagem e o pouso e que quanto menos decolagens e pousos por voo, menor a exposição da força de trabalho a essas etapas. Qian et al. (2015) foi o primeiro artigo a considerar o risco de voos com mais de uma unidade marítima como destino no desenvolvimento da tabela de voos. Gribkovskaia et al. (2015) apresentaram um modelo com voos de apenas uma unidade marítima de destino e relataram que essa proposta reduzirá o número de fatalidades.

3. METODOLOGIA

A dissertação buscará analisar as possibilidades de otimização a partir de quatro elementos principais, sendo eles, helicópteros, aerovias, unidades marítimas e aeródromos. Será analisado como as soluções encontradas são impactadas pela configuração da frota entre os portes médio e grande, pela rede atual de aerovias estabelecida para a Bacia de Campos, pelas restrições de pouso nos *helidecks* das unidades marítimas, assim como pelas diferentes possibilidades de distribuição de voos entre os aeródromos existentes.

Até o momento, foi desenvolvido um modelo de programação linear inteira (MIP) para esse clássico problema do transporte considerando dois cenários. No cenário 1, mais flexível, não há limitação de frota por base aeroportuária, ou seja, os aeródromos possuem capacidade infinita. Já no cenário 2, essa limitação é imposta, refletindo os gargalos do cenário real existente. Para a obtenção dos resultados foi usada uma licença de desenvolvedor do software AIMMS, versão 4.44, utilizando o pacote de otimização CPLEX. As soluções foram obtidas em poucos segundos para os cenários propostos.

4. RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS

As soluções encontradas para os cenários 1 e 2, comparadas ao cenário base (atualmente

realizado) demonstram a diferença de valores financeiros e de número de voos e horas voadas de cada uma dessas três alternativas.

A Tabela 1 apresenta os resultados de cada um dos cenários. A coluna *CustoTotal* apresenta o percentual do custo semanal total das horas voadas de cada cenário em relação ao cenário base. Em relação ao cenário 1, que demanda ajustes na infraestrutura aeroportuária, há uma redução de até 18,6%. Em relação ao cenário 2, que demanda apenas a implementação da distribuição de voos proposta, há de uma redução de 11,2%. A coluna *TotalHV* apresenta o número total de horas voadas realizadas por cada cenário. O cenário 1 possui o menor valor, que chega a ser quase 47% menor que o cenário base, que apresenta destacadamente o maior valor, demonstrando uma oportunidade para se reduzir o tráfego aéreo. A coluna *TotalVoos* apresenta o total de voos realizados. A coluna *Vagas* apresenta a disponibilidade total de vagas oferecidas. Foi considerado como valor mínimo o praticado pelo cenário base, sendo restrição a ser atendida pelos cenários 1 e 2. A variação ocorrida nos demais cenários demonstra uma variação pouco significativa de pouco mais que 1%, conforme demonstrado na coluna *Atendimento* e provoca uma folga de vagas disponibilizadas para algumas unidades marítimas. O tempo de processamento é mínimo e adequado para a utilização do modelo em um horizonte de tempo pequeno como o semanal.

Tabela 1: Resultados dos cenários estudados

	CustoTotal (%)	TotalHV	TotalVoos	Vagas	Atendimento	CPU(s)
Cenário 1	81,42	355	411	5869	100,96%	1,44
Cenário 2	88,83	374	390	5878	101,12%	172,62
Cenário base	100,00	666	460	5813	100,00%	NA

A Tabela 2, que apresenta o detalhamento do cenário 1, deixa claro que existe um aeródromo mais vantajoso em relação às outras duas bases. Isso é reflexo do seu estratégico posicionamento geográfico, mais próximo das unidades marítimas, que pode ser corroborado pelos dados do parâmetro *HVporVoo* e que demonstram tempos de voo mais curtos para a Base X em relação às demais. Nesse cenário, 11,77% das horas voadas são realizados em helicópteros do modelo N, 37,1% no modelo O e 51,1% no modelo P. Tais percentuais são proporcionais aos quantitativos de voos entre modelos.

Tabela 2: Solução do cenário 1

Cenário 1 Modelo	Total_HV			Total_Voos		
	Base X	Base Y	Base Z	Base X	Base Y	Base Z
N	41,81	-	-	50	-	-
O	131,76	-	-	174	-	-
P	181,41	-	-	187	-	-

A Tabela 3 detalha o cenário 2, mostrando que, considerando a frota real já distribuída entre as bases e suas respectivas restrições aeroportuárias, o melhor aeródromo, Base X, realiza o máximo de 270 voos possíveis, correspondente a 69% do total, sendo mais de 75% dos voos realizados pelo modelo P. A Base Y realiza quase 28% dos voos, sendo 24% pelo modelo P e 76% pelo modelo O. A Base Z realiza aproximadamente 3% com seu modelo N. Em relação às horas voadas, 49,5% são feitas pelo modelo P da Base X, o que equivale a 26,5 horas voadas para cada helicóptero. Além disso, 13,6% são feitas pelo modelo O da Base X, 9,5% pelo modelo P da Base Y, 24% pelo modelo O da Base Y e 3,2% pelo modelo N da Base Z.

Tabela 3: Solução do cenário 2

Cenário 2	Total_HV	Total_Voos
-----------	----------	------------

Modelo	Base X	Base Y	Base Z	Base X	Base Y	Base Z
N	-	-	12,0	-	-	11
O	51,0	89,8	-	67	83	-
P	185,2	35,5	-	203	26	-

Sobre a divergência do cenário 1 possuir mais voos realizados que o cenário 2, mas realizar menos horas voadas, pode ser explicado pelo fato de o cenário 2 realizar voos pelas Bases Y e Z que são mais distantes das unidades marítimas do que a Base X. Isso implica em voos mais longos, provocando um aumento do número total de horas voadas em relação ao cenário 1.

Já a Tabela 4, detalha os resultados do cenário base, que não possui o modelo O, mais eficiente que o modelo N, de mesmo porte e não utiliza o melhor aeródromo, Base X, em sua máxima capacidade, pois realiza apenas 232 voos no mesmo. Isso significa 50,4% dos voos realizados nessa base, 22% na Base Y e 27,6% na Base Z. A respeito das horas voadas, utiliza-se mais o P da Base X, em relação aos demais cenários, com mais de 201 horas. Porém, apenas 30,2% das horas são voadas com esse modelo de aeronaves. Outros 19,5% são voados pelo modelo N da Base X, 13,4% pelo modelo P da Base Y, 7,7% pelo modelo N da Base Y e 29,2% pelo modelo N da Base Z.

Tabela 4: Solução do cenário base

C. Base Modelo	Total_HV			Total_Voos		
	Base X	Base Y	Base Z	Base X	Base Y	Base Z
N	129,75	51,4	194,26	100	51	127
O	-	-	-	-	-	-
P	201,16	89,3	-	132	50	-

Os próximos passos do trabalho preveem a elaboração de cenários considerando diferentes concepções de aerovias, outras configurações de frota entre as bases e redução de restrições de pouso em unidades marítimas. Além disso, será analisada a sensibilidade de variáveis como a taxa de câmbio e o custo do Querosene de Aviação. Por fim, serão utilizadas técnicas de otimização robusta para assegurar resultados fidedignos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi-Pooya, A., & Kashan, A. H. (2017). New mathematical models and a hybrid Grouping Evolution Strategy algorithm for optimal helicopter routing and crew pickup and delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 112, 35-56.
- Galvão, R. D., & Guimarães, J. (1990). The control of helicopter operations in the Brazilian oil industry: Issues in the design and implementation of a computerized system. *European Journal of Operational Research*, 49(2), 266-270.
- Gribkovskaia, I., Halskau, O., & Kovalyov, M. Y. (2015). Minimizing takeoff and landing risk in helicopter pickup and delivery operations. *Omega*, 55, 73-80.
- Hermeto, N. D. S. S., Ferreira Filho, V. J. M., & Bahiense, L. (2014). Logistics network planning for offshore air transport of oil rig crews. *Computers & Industrial Engineering*, 75, 41-54.
- Moreno, L., de Aragão, M. P., & Uchoa, E. (2006, May). Column generation based heuristic for a helicopter routing problem. In *International Workshop on Experimental and Efficient Algorithms* (pp. 219-230). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Qian, F., Strusevich, V., Gribkovskaia, I., & Halskau, Ø. (2015). Minimization of passenger takeoff and landing risk in offshore helicopter transportation: Models, approaches and analysis. *Omega*, 51, 93-106.
- Qian, F., Gribkovskaia, I., & Halskau Sr, Ø. (2011). Helicopter routing in the Norwegian oil industry: Including safety concerns for passenger transport. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(4), 401-415.