

NEWTON ALMEIDA DE SOUZA JUNIOR

Sistema de Suporte à Decisão para otimizar a designação de aeronaves no transporte de material de socorro em missões da Força Aérea Brasileira

São Paulo
2024

NEWTON ALMEIDA DE SOUZA JUNIOR

Sistema de Suporte à Decisão para otimizar a designação de aeronaves no transporte de material de socorro em missões da Força Aérea Brasileira

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador: Prof. Dr. Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki

São Paulo
2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 21 de julho de 2024

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Souza Junior, Newton Almeida de

Sistema de Suporte à Decisão para otimizar a designação de aeronaves no transporte de material de socorro em missões da Força Aérea / N. A. Souza Junior -- versão corr. -- São Paulo, 2024.

72 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Designação 2.Sistemas de Suporte à Decisão 3.Multicritério 4.Operações Humanitárias I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

Nome: SOUZA JUNIOR, Newton Almeida de

Título: Sistema de Suporte à Decisão para otimizar a designação de aeronaves no transporte de material de socorro em missões da Força Aérea Brasileira

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: 24 de maio de 2024

Banca Examinadora

Prof. Dr. Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Rodrigo Antonio Silveira Santos

Instituição: Universidade de Força Aérea

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Vinicius Picanço Rodrigues

Instituição: Inspere Instituto de Ensino e Pesquisa

Julgamento: Aprovado

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado de uma jornada que não seria possível sem o apoio e encorajamento de várias pessoas. Gostaria de expressar minha profunda gratidão e apreço a todos que contribuíram de maneira significativa para o desenvolvimento deste estudo.

Em primeiro lugar, meu sincero agradecimento a Deus. Nas horas mais desafiadoras, foi a sua ajuda que me deu força e direção. A presença divina em minha vida foi uma fonte constante de paz, conforto e inspiração ao longo deste percurso.

Em seguida, um agradecimento muito especial à minha esposa, Roberta Souza, por seu apoio incondicional em todos os momentos do curso. Sua força, paciência e amor foram fundamentais para superar os obstáculos desta jornada acadêmica.

Aos meus filhos, Davi Souza e Beatriz Souza, agradeço a compreensão e paciência durante os períodos de ausência. O amor e a alegria deles foram essenciais para manter meu ânimo e determinação.

Expresso minha gratidão ao Professor Hugo Yoshizaki por seu apoio irrestrito e amizade. Seu conhecimento, sabedoria e orientação foram indispensáveis para a realização deste trabalho.

Meu agradecimento também aos professores Vinícius Picanço, Rodrigo Silveira, Irineu Brito, Luiza Cunha e Angelica Alebrant pelas valiosas correções e sugestões. Suas orientações e recomendações enriqueceram significativamente este trabalho e contribuíram para a sua qualidade final.

Aos meus amigos e colegas do CISLOG, em especial Lorena Frazão, Filipe Santos, José Pedro e Camila Yale, meu muito obrigado. A ajuda, colaboração e amizade de cada um foram muito importantes para o sucesso deste projeto.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta jornada. Cada contribuição foi valiosa e será sempre lembrada com gratidão.

RESUMO

Souza Junior, Newton A de. **Sistema de Suporte à Decisão para otimizar a designação de aeronaves no transporte de material de socorro em missões humanitárias da Força Aérea Brasileira**. 2024. 72p. Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

O deslocamento forçado global de pessoas ultrapassou 110 milhões de 1951 até meados de 2023, segundo a Agência da ONU para Refugiados. Crises humanitárias afetam praticamente a toda população mundial. Anualmente o Brasil tem sofrido uma série de desastres naturais e provocados por humanos. Nesse escopo, é fundamental que sejam realizados esforços para a preparação de respostas a desastres futuros. A Força Aérea Brasileira é um órgão importante, dada a capacidade dos seus ativos em proporcionar resposta imediata em uma operação humanitária. Diante disso, primeiramente foi elaborado modelo de designação de aeronaves baseado em sua capacidade, de modo a possibilitar a otimização de custos de uma operação humanitária. O modelo foi testado com dados da fase de resposta inicial da Operação Acolhida dos migrantes venezuelanos, em março de 2018. Os resultados mostram que esse tipo de modelagem pode ser muito útil em futuros desastres. Na sequência do trabalho foi desenvolvido Sistema de Suporte à Decisão multicritério, a partir do qual usuários conseguem otimizar e analisar soluções de um problema de designação de aeronaves para transporte a longa distância de materiais de socorro com os objetivos de minimizar custos logísticos e o tempo de atendimento a uma Operação Humanitária.

Palavras-chave: Designação. Sistemas de Suporte à Decisão. Multicritério. Operações Humanitárias.

ABSTRACT

Souza Junior, Newton A de. **Decision Support System to Optimize Aircraft Allocation for Relief Material Transportation in Brazilian Air Force Humanitarian Missions**. 2024. 72p. Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

The global forced displacement of people exceeded 110 million from 1951 to mid-2023, according to the United Nations Refugee Agency. Humanitarian crises affect practically the entire world population. Annually, Brazil has suffered a series of natural and human-caused disasters. In this scope, it is fundamental to make efforts to prepare responses to future disasters. The Brazilian Air Force is an important body, given the capacity of its assets to provide an immediate response in a humanitarian operation. Initially, an aircraft designation model based on its capacity was developed to optimize the costs of a humanitarian operation. The model was tested with data from the immediate response phase of Operação Acolhida of Venezuelan migrants in March 2018. The results show that this type of modeling can be very useful in future disasters. Following this work, a multicriteria Decision Support System was developed, through which users can optimize and analyze solutions to an aircraft assignment problem for long-distance transport of relief materials with the goals of minimizing logistical costs and the response time to a Humanitarian Operation.

Keywords: Assignment. Decision Support Systems. Multicriteria. Humanitarian Operations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Painel de Desastres Ocorridos no Brasil de 1991 a 2022	2
Figura 2: Gráfico de Desastres Ocorridos no Brasil de 1991 a 2022.....	2
Figura 3: Gráfico do total de assistência humanitária internacional realizada entre 2018-2022	3
Figura 4: Acionamento FAB Evento Inopinado.....	10
Figura 5: Acionamento FAB Evento Planejado.....	11
Figura 6: Organograma do COMAE	12
Figura 7: Demonstração Gráfica da Fronteira de Pareto	17
Figura 8: Modelo Básico SSD.....	18
Figura 9: Aeronaves de Carga da FAB MAR-JUL 2018.....	24
Figura 10: Visão geral da região de Roraima	25
Figura 11: Mapa de Roraima	25
Figura 12: Mapa de Boa Vista	26
Figura 13: Localização de Foz do Iguaçu no Mapa	32
Figure 14: Distância Rio de Janeiro- Foz do Iguaçu.....	32
Figure 15: Localização de Salvador no Mapa.....	33
Figura 16: Distância Rio de Janeiro- Salvador	34
Figura 17: Missão Humanitária Salvador 2021.....	35
Figure 18: Localização no Mapa de Rio Branco.....	36
Figure 19: Distância do Rio de Janeiro- Rio Branco.....	36
Figura 20: Diagrama Explicativo da Metodologia	38
Figura 21: Implementação do Código em Python	45
Figura 22:Geração de Gráfico de Soluções em Python.....	45
Figura 23: Tela Inicial do SSD	46
Figura 24: Tela Otimizador do SSD.....	46
Figura 25:Tela Otimizador do SSD- Seleção de Peso e Destino	47
Figura 26: Resultado da Otimização	48
Figura 27: Resultado da Análise de Sensibilidade.....	49
Figura 28: Otimização Cenário Foz do Iguaçu	50
Figura 29: Resultado Cenário Foz do Iguaçu	50
Figura 30: Seleção dos Parâmetros de Análise de Sensibilidade- Foz do Iguaçu	51
Figure 31: Resultado da Análise de Sensibilidade Foz do Iguaçu	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre Necessidades da Operação Humanitária e as Características do Poder Aéreo	9
Tabela 2: Resumo de bibliografias multicritério	15
Tabela 3: Aeronaves de transporte de carga FAB	22
Tabela 4: Aeronaves de transporte de carga FAB consideradas no modelo com tempo de viagem para BV.....	40
Tabela 5: Número de voos por aeronave- Realizado vs Modelo de otimização	41
Tabela 6: Cenário 1: tempo de operação reduzido.....	42
Tabela 7: Cenário 2: aumento de carga e tempo de operação de 10 dias	43

LISTA DE SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CECOMSAER	Centro de Comunicação Social da Aeronáutica
CLHV	Custo Logístico da Hora de Voo
COMAE	Comando de Operações Aeroespaciais
COMAER	Comando da Aeronáutica
EMCFA	Estado Maior Conjunto das Forças Armadas
FA	Forças Armadas
FAB	Força Aérea Brasileira
FICV	Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
MCDM	<i>Multicriteria Decision Method</i>
ODS	Órgãos de Direção Setorial
OH	Operação Humanitária
OM	Organização Militar
SSD	Sistema de Suporte à Decisão
SAD	Sistema de Apoio à Decisão (SSD = SAD nesta dissertação)
UNCHR	Agência da ONU para refugiados
USN	<i>United States Navy</i>
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Desastres e Logística Humanitária	6
2.2. Atuação da Força Aérea Brasileira em uma Operação Humanitária	8
2.3. Modelos de Designação de Recursos Multicritério	12
2.4. Sistemas de Suporte a Decisão	17
2.5. Modelagem Matemática	19
3. METODOLOGIA E MODELAGEM	21
3.1. Desenvolvimento do Modelo de Otimização	21
3.2. Desenvolvimento do SSD	27
3.2.1. Localidade Hipotética 1: Foz do Iguaçu	30
3.2.2. Localidade Hipotética 2: Salvador	32
3.2.3. Localidade Hipotética 3: Rio Branco	35
3.3. Conclusão do Capítulo	37
4. ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO ACOLHIDA	39
5. O SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO	44
5.1. Descrição do Sistema	44
5.2. Conclusão do Capítulo	52
6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	54
6.1. Limitações do Trabalho	57
6.2. Sugestões para Pesquisas Futuras	57

1. INTRODUÇÃO

A Agência da ONU para Refugiados (UNCHR) estima que o deslocamento forçado global ultrapassou 110 milhões de pessoas no período de 1951 até meados de 2023 (UNCHR, 2023). Crises humanitárias afetam praticamente a toda população, exercendo uma enorme pressão sobre várias instituições (SHULTZ *et al.*, 2020).

Nesse contexto, pode ser afirmado que as crises humanitárias estão associadas ao aumento de desastres. A Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho (FICV, 2022) define desastres como sérias interrupções no funcionamento de uma comunidade que excedem sua capacidade de lidar com seus próprios recursos.

Segundo Ribeiro (2021), embora o termo desastre faça referência a eventos naturais extremos, como furacões, terremotos e tsunamis, situações como conflitos armados, atentados terroristas, golpes de Estado e crises migratórias também são consideradas desastres, mas gerados pela ação humana, ou seja, antropogênicos.

No período entre 1980 e 2023, desastres naturais resultaram em perdas de 2,6 trilhões de dólares e causaram a morte de 16.340 pessoas somente nos Estados Unidos (NCEI, 2023). Esses números, contudo, refletem apenas os danos físicos, excluindo perdas indiretas como desemprego e impactos ambientais. A gestão da cadeia de suprimentos humanitária, diferenciando-se significativamente da logística empresarial, revela a necessidade de um planejamento mais estratégico e eficaz nas fases preparatórias para mitigar o impacto humano desses desastres (Kwon & Kim, 2017).

Diante do cenário de tantos desastres e de perdas humanas e financeiras envolvidas, é essencial que os países estejam preparados para os desastres que eventualmente acontecerão, que está em linha com o que defende Van Wassenhove (2006). Segundo o autor, existem quatro fases na gestão de desastres: mitigação, preparação, resposta e reabilitação.

O Brasil é um país de dimensões continentais. Anualmente tem se repetido desastres naturais e provocados pelo homem, como foi o caso de enchentes e deslizamentos em Angra dos Reis em 2010, enchentes e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011, rompimento da barragem de Fundão de Mariana em 2015, rompimento de barragem Córrego do Feijão de Brumadinho em 2019, Operação Acolhida, para o atendimento de migrantes venezuelanos, que teve início em 2018 e está ainda está ativa, e ainda a cidade de Epitacolândia, que fica no Acre e faz fronteira com Peru e Bolívia, declarou emergência devido ao fluxo de imigrantes em 2023. De acordo com o Atlas Digital de Desastres no Brasil (Brasil, 2023) é possível identificar que já foram registrados 4.728 óbitos, além de terem sido gerados mais de 502 bilhões de reais em prejuízos totais no período de 1991 a 2022 (Figura 1 e Figura 2), nas mais de 62 mil

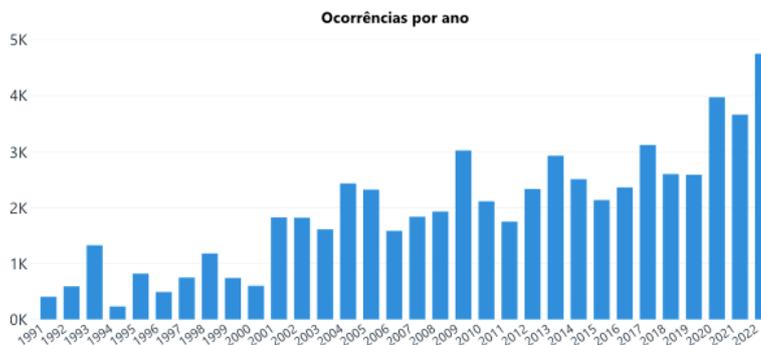
ocorrências registradas. Diante desse cenário de desastres ocorridos, é essencial que o país esteja preparado para operações humanitárias em eventos futuros.

Figura 1: Painel de Desastres Ocorridos no Brasil de 1991 a 2022



Fonte: Atlas Digital de Desastres no Brasil (MIDR)

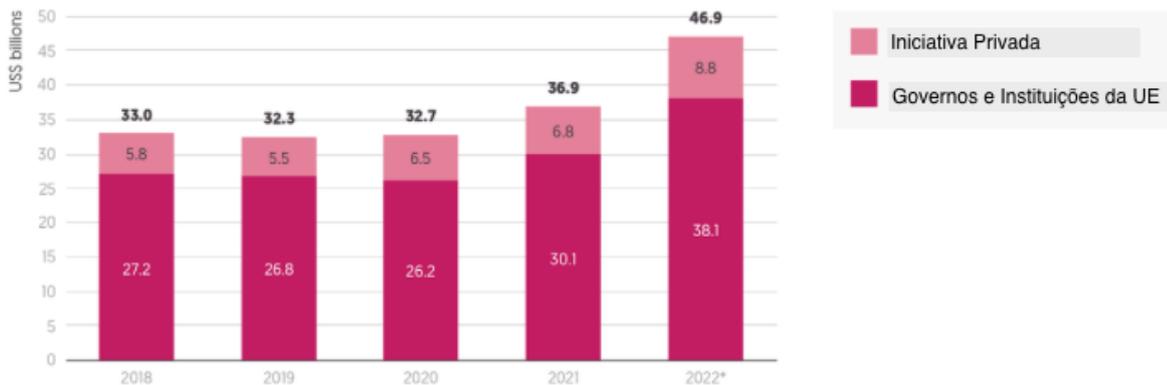
Figura 2: Gráfico de Desastres Ocorridos no Brasil de 1991 a 2022



Fonte: Atlas Digital de Desastres no Brasil (MIDR)

Existem várias partes interessadas atuando no processo de desastre e operações humanitárias. Em geral, o setor público, particularmente o governo, é responsável pela maior parte de uma operação humanitária (FONTAINHA et al., 2017). Na Figura 3 é possível observar a grande diferença em termos de doação realizada pelos governos e instituições da União Europeia (UE), que foram responsáveis por mais de 81% das doações humanitárias realizadas no ano de 2022 (GHA, 2023).

Figura 3: Gráfico do total de assistência humanitária internacional realizada entre 2018-2022



Fonte: GHA (2023)

No Brasil o Órgão responsável por coordenar as ações de proteção e defesa dos cidadãos é a Defesa Civil (BRASIL, 2012a). Sua organização é dada através do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC). Como guia é utilizado o Plano Nacional de Redução de Desastres para elaboração de planos específicos que tem como objetivo prevenir e mitigar os riscos de desastres, preparar sua redução, resposta imediata e recuperação dos efeitos danosos.

Em vários desastres foi observada a ação de militares, sendo um dos mais recorrentes *stakeholders* na Logística Humanitária (LEIRAS *et al.*, 2014). Pode-se dizer que os benefícios da atuação dos militares incluem: capacidades militares únicas, transporte, logística, equipamentos médicos e implantação rápida oportuna (MALEŠIČ, 2015).

O Estado Maior Conjunto das Forças Armadas (EMCFA) tem papel fundamental na Estratégia Nacional de Defesa, conforme Livro Branco de Defesa Nacional (BRASIL, 2012b). Uma das atividades previstas na coordenação da interoperabilidade das Forças Armadas (FA) é de otimizar meios militares em operações humanitárias. A cooperação com a Defesa Civil em desastres é considerada como ação subsidiária das FA (BRASIL, 2012b).

No âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER), a atuação em apoio à Defesa Civil, como ação subsidiária, em consonância com o Plano de Emprego das Forças Armadas em Casos de Desastres, foi regulada pela Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA), nº 357-1 "Procedimentos de apoio à Defesa Civil" (BRASIL, 2018).

Segundo Silveira Santos (2019) um dos pontos fracos do Poder Aéreo é o alto custo na operação e manutenção de aeronaves. Além disso, estima-se que mais de 40% do valor envolvido na logística de uma operação humanitária seja desperdiçado devido a fatores como duplicação de esforços e falta de tempo para realizar a análise efetiva (VAN WASSENHOVE, 2006). Pode ainda ser levado em conta que, como já citado anteriormente, está previsto no Livro Branco de Defesa otimizar meios militares em operações humanitárias.

Nesse contexto, as ferramentas de apoio à decisão multicritério têm se mostrado cada vez mais integradas nas abordagens de pesquisa para apoiar as decisões de gerenciamento de emergência. Essas ferramentas permitem a avaliação de alternativas de decisão e auxiliam os tomadores de decisão a darem respostas imediatas e eficazes sob pressões e incertezas (PENG; YU, 2014). O objetivo das decisões multicritério é explicitar a preferência do tomador de decisões, enfrentando os critérios conflitantes com clareza e justificando o caminho seguido. Assim, essas ferramentas tornam-se essenciais para otimizar os meios militares em operações humanitárias, contribuindo para a redução de desperdícios e para uma maior eficiência nas operações (GOUJON, 2016).

Lei Zhou et al. (2018) destaca a importância da rapidez nas operações humanitárias e a utilidade de tecnologias avançadas, como Sistemas de Suporte à Decisão (SSD). De acordo com os autores, a eficiência na tomada de decisões de emergência é crucial para mitigar os impactos de desastres naturais. O artigo explora como a integração de tecnologias pode melhorar significativamente a capacidade de resposta rápida em situações de crise, ajudando na designação eficiente de recursos e na tomada de decisões informadas em um ambiente dinâmico e muitas vezes caótico.

Considerando o expressivo volume de missões executadas pela Força Aérea Brasileira (FAB) entre os anos de 2017 e 2022 - um total de 351 operações voltadas para operações humanitárias, conforme detalhado na tabela do apêndice 1, fundamentada no relatório do Comando de Operações Aeroespaciais (SILVA, 2020) e em informações divulgadas pelo Centro de Comunicação Social da Aeronáutica (CECOMSAER) - destaca-se a importância e o compromisso da FAB nessas atividades.

Neste sentido, levantou-se a seguinte questão de pesquisa: De que maneira um Sistema de Suporte à Decisão Multicritério pode auxiliar os tomadores de decisão a realizar a designação de aeronaves da FAB, para transporte de carga em longa distância, com base na demanda, disponibilidade, e capacidades, em uma operação humanitária, considerando o tempo de atendimento e custo da operação?

Para responder à pergunta de pesquisa, o objetivo geral do presente trabalho é desenvolver um Sistema de Suporte à Decisão (SSD) que otimize a designação de aeronaves da Força Aérea Brasileira (FAB) para transporte de carga em longa distância em operações humanitária, com foco na maximização da eficiência temporal e minimização dos custos operacionais, garantindo assim uma resposta rápida e econômica no transporte de cargas em situações de emergência.

A pergunta da pesquisa pode ser desdobrada em três objetivos específicos:

a) Identificar os procedimentos necessários para a realização de um atendimento humanitário na FAB;

b) Desenvolver modelo matemático multicritério para designação eficiente de aeronaves da FAB, levando em conta as capacidades de cada ativo, com a comparação por nível de serviço, em um atendimento humanitário; e

c) Desenvolver Sistema de Apoio a Decisão simples e interativo, de modo a viabilizar a utilização dos usuários.

Como produto final foi desenvolvido SSD a partir do qual usuários consigam otimizar e analisar soluções de um problema de designação de recursos com os objetivos de minimizar custos logísticos e prover um nível de serviço adequado, a partir da análise do tempo demandado para a realização da operação humanitária. Nesse sistema, os usuários são capazes de visualizar as soluções de designação de aeronaves, assim como o valor estimado de custo e o tempo necessário para o deslocamento de carga.

No presente trabalho, em um primeiro momento foi aplicado um modelo de otimização do custo para designação de aeronaves em uma operação humanitária com a participação da FAB. Foi realizada a comparação entre o esforço real realizado com a proposta gerada pelo modelo. Além disso, foi realizada análise de sensibilidade, na qual foi possível observar as modificações geradas por incertezas com relação a quantidade de carga e em relação ao tempo necessário para deslocamento.

Na sequência foi desenvolvido o SSD com um modelo multicritério, no qual o tempo foi inserido como um produto direto para análise, ao invés de figurar como uma análise paralela de sensibilidade a posteriori. O objetivo desta aplicação do SSD e de seus novos recursos era de aumentar a interatividade do modelo, além de propiciar o seu manuseio de forma mais simples e intuitiva na designação de aeronaves da FAB em problema multiobjetivo de seleção de ativos com menor custo e menor tempo de resposta.

Este trabalho é organizado da forma a seguir. Na Seção 2 é apresentada a revisão bibliográfica de desastres e logística humanitária, atuação da FAB em uma OH, modelos de designação de recursos multicritério, Sistemas de Suporte à Decisão e modelagem matemática. Em seguida, na Seção 3, é apresentada metodologia e modelagem utilizada no desenvolvimento do modelo de otimização e do DSS. Na Seção 4, foi apresentado estudo de caso realizado para validação do modelo de otimização. Na Seção 5 foi descrito o SSD. Por último na seção 6, se encontram as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a realização desta pesquisa, foi feita revisão de literatura sobre o tema da logística humanitária aplicada à designação de recursos com multicritério. As buscas foram realizadas por meio da base de dados do *Web of Science* e *Scopus*. Foram utilizadas as palavras-chave “*multiobjective*” ou “*multicriteria*” e “*humanitarian*” ou “*disaster*” ou “*catastrophe*”. Em uma nova etapa de consultas foi adicionada a palavra-chave “*resource allocation*”.

O critério para definir essas palavras-chave foi a relevância direta ao tema central da pesquisa, que envolve a designação de recursos em operações humanitárias, utilizando abordagens multicritério. A escolha das palavras-chave “*multiobjective*” e “*multicriteria*” se deve à necessidade de encontrar estudos que abordem métodos de decisão complexos e simultâneos em contextos logísticos. Já as palavras “*humanitarian*”, “*disaster*” e “*catastrophe*” foram selecionadas para garantir que as publicações estivessem contextualizadas em cenários de crises e emergências, onde a logística humanitária é crítica. A adição da palavra-chave “*resource allocation*” em uma nova etapa de consultas visou refinar os resultados, focando especificamente em estudos que tratam da distribuição eficiente de recursos.

Foram obtidas 78 publicações através dos usos simultâneos de palavras-chave dos temas de designação de recursos multicritério em uma operação humanitária. Após a triagem de títulos, onde foram filtrados os artigos determinísticos e ligados a área de logística humanitária, foram selecionados 15 artigos que se relacionam ao tema deste trabalho.

2.1. Desastres e Logística Humanitária

Desastres são compreendidos como graves interrupções no funcionamento de comunidades, excedendo a capacidade destas de enfrentar desafios com recursos próprios. Estes eventos, que podem ser desencadeados por perigos naturais, humanos e tecnológicos, são influenciados por diversos fatores que afetam a exposição e vulnerabilidade das comunidades. (FICV, 2022).

De forma paralela, a Logística Humanitária, como campo de estudo e prática, tem ganhado relevância e atenção crescente. Conforme apontado por Leiras *et al.* (2014) embora seja um tema relativamente novo, a logística humanitária tem registrado um aumento significativo tanto em termos de quantidade de trabalhos quanto de relevância. Esse crescimento reflete a necessidade de abordagens eficazes e inovadoras para lidar com os desafios impostos pelos desastres, assegurando respostas rápidas e eficientes que minimizem o impacto sobre as comunidades vulneráveis e contribuam para a recuperação e resiliência a longo prazo.

Segundo Thomas e Mizushima (2005), Logística Humanitária engloba o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo e armazenamento eficiente e econômico de bens

e materiais, bem como informações relacionadas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender às necessidades do beneficiário final.

Van Wassenhove (2006) apresenta uma análise fundamental da progressão na logística humanitária, destacando sua evolução de uma função meramente operacional para um aspecto estratégico vital nas missões de ajuda. Fica evidenciada a necessidade de cadeias de suprimentos ágeis e adaptáveis, fundamentais para a eficácia das operações humanitárias, ilustrando um avanço significativo na maneira como as organizações respondem a crises e desastres.

Em se tratando desse avanço, Mangla e Luthra (2022) citam que a evolução da logística humanitária, em termos de sustentabilidade e resiliência, reflete uma resposta adaptativa aos crescentes desafios globais. Esta análise permite uma compreensão mais profunda da interconexão entre eficiência operacional e a necessidade de práticas sustentáveis e resilientes nas operações humanitárias. O estudo destaca a importância de um equilíbrio entre a resposta imediata a desastres e o impacto de longo prazo das operações, tanto socioeconômico quanto ambiental.

De acordo com Barrett e Constan (2014), a sustentabilidade representa um aspecto crucial na logística humanitária, especialmente no contexto das mudanças climáticas. O foco não é apenas em práticas operacionais eficientes, mas também em um compromisso com a minimização do impacto ambiental e a promoção do bem-estar a longo prazo das comunidades afetadas. Essa abordagem sustentável é essencial para garantir que as operações humanitárias não apenas respondam a crises imediatas, mas também contribuam para a construção de comunidades mais resilientes e capazes de enfrentar futuros desafios ambientais e sociais.

Além disso, uma cadeia de suprimentos humanitária eficaz deve ser capaz de responder a várias intervenções, geralmente em escala global, o mais rápido possível e em um curto período. As cadeias de suprimentos humanitárias devem ser múltiplas, globais, dinâmicas e temporárias (VAN WASSENHOVE, 2006).

Existem várias partes interessadas atuando no processo de desastre e operações humanitárias. Em geral, o setor público, particularmente o governo, é responsável pela maior parte de uma operação humanitária (FONTAINHA *et al.*, 2017). No presente trabalho, o foco está no estágio de preparação para uma resposta eficiente, e o principal stakeholder analisado é a FAB, pois o transporte aéreo é o que proporciona o menor tempo de resposta de todas as alternativas de transporte disponíveis.

Em uma Gestão Humanitária da Cadeia de Suprimentos, a demanda dos vulneráveis é imediata (ERTEM; BUYURGAN; ROSSETTI, 2010). Assim, a FAB, como parte do governo, é um stakeholder fundamental no presente trabalho, pois o transporte aéreo tem o menor tempo de resposta de todas as alternativas de transporte disponíveis e poderia responder rapidamente às demandas.

Independentemente de sua origem, os agentes humanitários encaram os desastres como eventos recorrentes, seguindo quatro fases distintas na gestão - mitigação, preparação, resposta e reconstrução (VAN WASSENHOVE, 2006):

- a) Mitigação: Esta fase envolve ações para evitar ou reduzir o impacto de desastres futuros. Exemplos incluem construção em áreas menos propensas a desastres ou fortalecimento de estruturas existentes.
- b) Preparação: Inclui o desenvolvimento de planos e sistemas para responder eficientemente aos desastres. Isso pode abranger treinamento, simulações e estabelecimento de sistemas de alerta.
- c) Resposta: Refere-se às ações imediatas após o desastre para salvar vidas, fornecer socorro e minimizar danos. Abrange desde busca e salvamento até a distribuição de suprimentos essenciais.
- d) Recuperação: Esta etapa foca na reconstrução e no retorno à normalidade após o desastre. Inclui a reconstrução de infraestruturas danificadas e a assistência a comunidades afetadas.

O foco deste trabalho está na fase de preparação, que está relacionada com os planos para ação adequada em caso de desastre, tendo em vista a aplicação em um evento futuro, e utilizou a fase de resposta dada no início da Operação Acolhida para validação de resultados.

2.2. Atuação da Força Aérea Brasileira em uma Operação Humanitária

A velocidade de resposta em um evento humanitário é vital para salvar um número maior de vidas ou para reduzir os impactos da crise na população afetada em uma Gestão da Cadeia de Suprimentos Humanitária (ERTEM; BUYURGAN; ROSSETTI, 2010). Para atender a essa necessidade de urgência, é altamente recomendável envolver o espaço aéreo em Operações Humanitárias e Logística (SILVA, 2020; SILVEIRA SANTOS, 2019). Na tabela 1 é possível visualizar algumas características do Poder Aéreo que se relacionam diretamente com as necessidades de uma Operação Humanitária.

Tabela 1: Relação entre Necessidades da Operação Humanitária e as Características do Poder Aéreo

Necessidades da Operação Humanitária	Características do Poder Aéreo
Atividades de SAR	Pronta-resposta, Penetração, Velocidade, Flexibilidade
Distribuir suprimentos de socorro	Mobilidade, Alcance, Pronta-resposta, Penetração, Velocidade
Prestar cuidados de saúde	Mobilidade, Alcance, Velocidade, Flexibilidade
Fornecer alimentação	Mobilidade, Alcance, Velocidade, Flexibilidade
Transporte pessoal	Pronta-resposta, Penetração, Flexibilidade
Equipamentos de transporte	Pronta-resposta, Penetração, Flexibilidade
Transporte de doações	Pronta-resposta, Alcance, Velocidade, Penetração, Flexibilidade
Transporte de detritos	Mobilidade, Flexibilidade, Alcance, Pronta-resposta

Fonte: Tradução de Silveira Santos (2019)

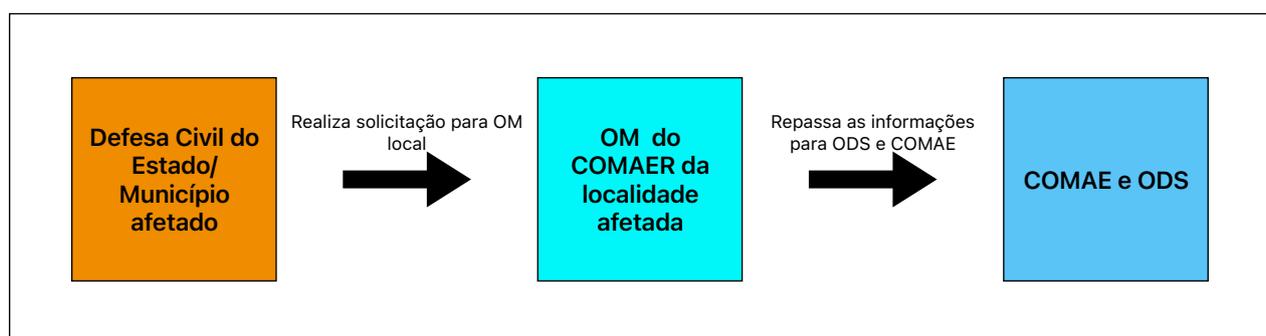
As características acima elencadas são definidas pela legislação que trata sobre a Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (BRASIL, 2020), conforme abaixo:

- a) Alcance: Está relacionado ao potencial das aeronaves e das plataformas espaciais para atingir objetivos a grandes distâncias, em função de propriedades como, por exemplo, autonomia, capacidade de reabastecimento em voo, cargas externas, tipo de órbita (no caso de satélites), entre outras.
- b) Flexibilidade ou Versatilidade: Apesar de não serem sinônimos, flexibilidade e versatilidade, no âmbito do Poder Aeroespacial, expressam características concorrentes. Em ambas estão implícitas as ideias-síntese de maleabilidade, rapidez e facilidade nos movimentos, mutabilidade e mudança. Os Meios Aeroespaciais podem assumir funções distintas de forma rápida, cujos impactos podem variar desde o nível tático até o nível político. Um mesmo meio pode variar de destino ou alvo em voo, pode gerar efeitos cinéticos ou não e cumprir distintas Ações de Força Aérea.

- c) Mobilidade: Resulta da habilidade do pessoal, das aeronaves, dos armamentos, dos equipamentos e dos sistemas de Força Aérea para, de imediato, desdobrarem-se de um aeródromo para outro, operando com igual ou maior efetividade.
- d) Penetração: Característica que provém da capacidade que as aeronaves e as plataformas espaciais possuem para adentrar o território do oponente, a despeito das defesas inimigas ou dos obstáculos naturais.
- e) Pronta- Resposta: É a consequência da habilidade do Poder Aeroespacial para reagir, imediatamente, a uma demanda, empregando meios na dimensão adequada, no local preciso e no momento oportuno.
- f) Velocidade: Decorre do potencial das aeronaves para percorrer, rapidamente, grandes distâncias. A velocidade pode ser utilizada na obtenção da surpresa e permite reduzir o tempo de exposição dos Meios Aeroespaciais à ação do inimigo, aumentando sua capacidade de sobrevivência.

O COMAER atua em cooperação com o SINPDEC de duas formas distintas, conforme a natureza e a urgência dos eventos: eventos inopinados e eventos planejados (BRASIL, 2018). No caso de ocorrência de um desastre que requeira resposta imediata, as Organizações Militares (OM) podem alocar meios (pessoal e material) em atendimento às solicitações da Defesa Civil do Estado e/ou Município, após exame da necessidade, oportunidade das ações e disponibilidade de recursos devendo obter, junto à Defesa Civil, todas as informações pertinentes ao desastre repassando-as aos escalões superiores e ao COMAE (Figura 4).

Figura 4: Acionamento FAB Evento Inopinado



Fonte: O autor

O fluxo de um evento planejado, em cooperação com as Comissões Estaduais e Municipais de Defesa Civil nas atividades de planejamento, prevenção e preparação dos

municípios, visando a reduzir suas vulnerabilidades aos possíveis desastres, segue o seguinte fluxo (Figura 5):

- a) a Secretaria Nacional de Defesa Civil (Órgão Central do SINPDEC) do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), motivada pelos órgãos Estaduais e/ou Municipais e após informar à Presidência da República (PR), solicita apoio ao MD que, após análise e aprovação, emite diretriz específica para as Forças Armadas que participarão do evento;
- b) caso haja participação do Comando da Aeronáutica, o EMAER (Estado-Maior da Aeronáutica) emitirá orientações ao Comando de Operações Aeroespaciais (COMAE) e aos ODS (Órgãos de Direção Setorial) que tenham ligação institucional com as atividades a serem desenvolvidas;
- c) o COMAE e os ODS designam as equipes que participarão dessas atividades; e
- d) o COMAE será responsável pela coordenação e orientação das atividades e pela consolidação, no Relatório Final, dos dados constantes dos Relatórios Setoriais, elaborados pelos ODS, com ênfase nas ações desenvolvidas, objetivos atingidos e ensinamentos colhidos.

Figura 5: Acionamento FAB Evento Planejado



Fonte: O autor

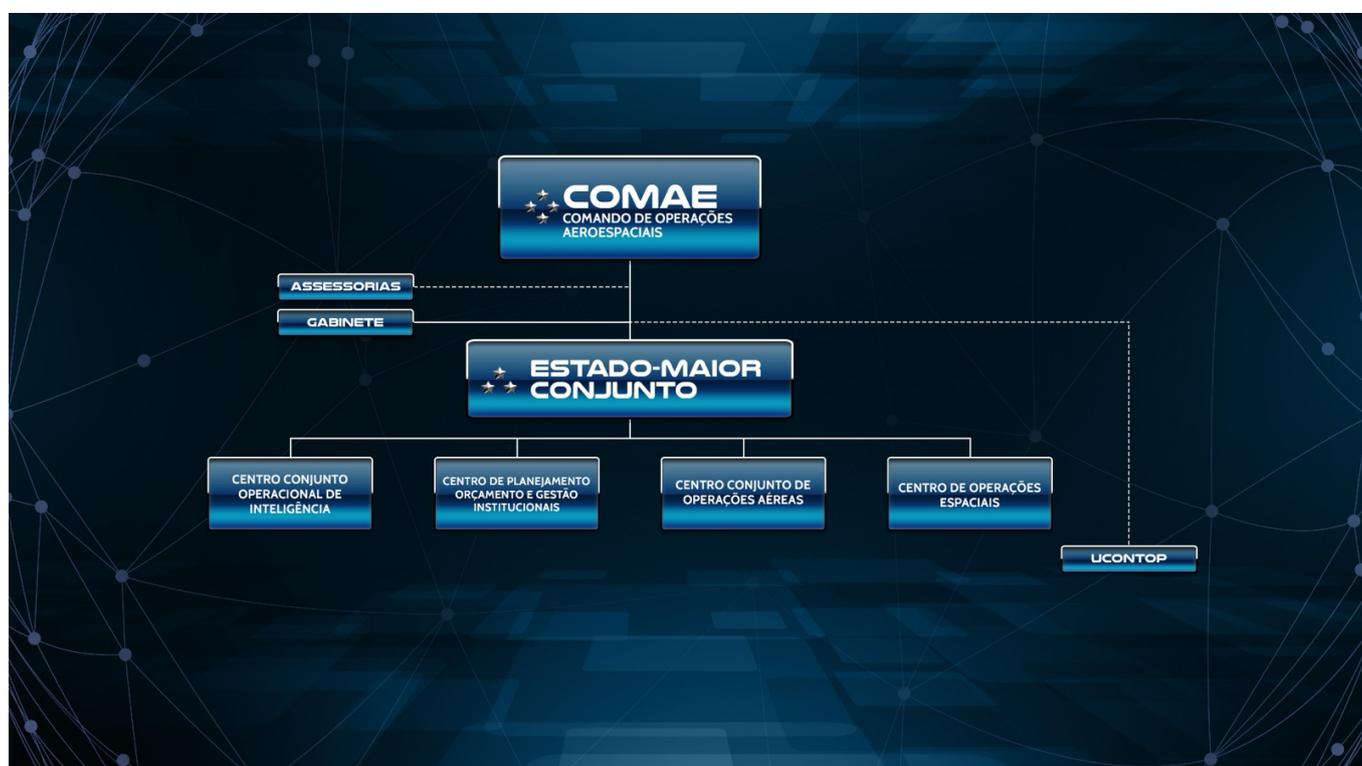
O COMAE é o Grande Comando responsável pela coordenação e controle das operações aeroespaciais nacionais (BRASIL, 2022), e tem seu organograma conforme a Figura 6. Estabelecido com o intuito de assegurar a soberania do espaço aéreo brasileiro, o COMAE coordena atividades que abrangem desde vigilância até defesa aeroespacial. Uma de suas funções primordiais é coordenar os processos relacionados ao planejamento e condução de operações de emprego do poder aeroespacial.

O Centro Conjunto de Operações Aéreas (CCOA) do COMAE exerce um papel crucial na gestão e alocação de recursos aéreos e terrestres nas missões da FAB. Este centro é a espinha dorsal para atender às necessidades operacionais tanto dos Órgãos de Direção Setorial Aeroespacial (ODS) quanto do COMAER. O CCOA destaca-se pela sua capacidade de propor

soluções operacionais que são não apenas eficientes, mas também economicamente viáveis, assegurando uma utilização otimizada dos recursos disponíveis.

As responsabilidades do CCOA abrangem uma ampla gama de operações, incluindo missões críticas de defesa, vigilância e apoio humanitário. Em situações de emergência, como missões humanitárias, o centro demonstra sua capacidade de planejamento estratégico e alocação rápida de aeronaves, equilibrando prontidão operacional e eficiência de recursos. O CCOA realiza avaliações detalhadas das demandas operacionais, garantindo que as decisões tomadas sejam alinhadas aos princípios de eficácia e economia. Isso inclui a análise da disponibilidade de aeronaves e recursos terrestres, coordenação logística para mobilização rápida e programação de missões para maximizar impacto operacional com custos minimizados.

Figura 6: Organograma do COMAE



Fonte: Site Oficial da FAB (www.fab.mil.br)

2.3. Modelos de Designação de Recursos Multicritério

As ferramentas de apoio à decisão multicritério têm se tornado mais integradas nas abordagens de pesquisa para apoiar as decisões de gerenciamento de emergência, uma vez que podem avaliar alternativas de decisão e auxiliar os tomadores de decisão a dar respostas imediatas e eficazes sob pressões e incertezas (PENG; YU, 2014).

Nesse escopo, o objetivo das decisões multicritério é deixar claro a preferência do tomador de decisões. Os critérios escolhidos geralmente são conflitantes e o principal objetivo é

que a pessoa responsável pela decisão faça a escolha, de acordo com sua preferência e de forma clara, fato que pode ajudar na justificativa do caminho seguido (GOUJON, 2016).

Gutjar e Nohlz (2016) realizaram uma revisão da literatura em otimização multicritério em ajuda humanitária e observaram e classificaram os critérios utilizados na tomada de decisão multicritério (MCDM): custo, tempo de resposta, distância de viagem, cobertura, confiabilidade e segurança e equidade.

Tirado et al. (2014) propuseram a introdução de um modelo de fluxo dinâmico que fornece uma programação adequada para distribuição da ajuda humanitária através de um horizonte de tempo, para atender quatro critérios: quantidade total distribuída, tempo, patrimônio e custo. O modelo foi validado através de aplicação do estudo no Terremoto do Haiti em 2010.

Aidonis et al. (2015) estudaram a localização ótima para a instalação de um depósito de materiais de alívio, com critérios como população, distância e população da região, e aplicaram ao caso do terremoto em Pella, Grécia.

Mejia-Argueta et al. (2018) alimentaram um modelo de localização multicritério que garante o fluxo de pessoas de áreas vulneráveis para abrigos e do fluxo de kits de ajuda humanitária de centros de distribuição para os abrigos. Utilizaram frota heterogênea de veículos e levaram em consideração capacidade, demanda, disponibilidade de recursos e outras restrições laterais. Os três critérios utilizados foram tempo máximo de vazão de evacuação, tempo máximo de vazão de suprimento e custo total, através da Fronteira de Pareto. Foi realizado estudo de caso com a enchente de 2007 na cidade de Vila Hermosa do México.

Laguna-Salvado et al. (2019) propuseram uma abordagem em seu artigo a ser usada com planejamento tático de operações sustentáveis de distribuição em cadeias de suprimentos humanitárias. Os critérios utilizados foram o de tempo e de sustentabilidade. Foi feita aplicação na rede da FICV dos EUA e Caribe.

No trabalho de Flores et al. (2020) foi criado um modelo de transporte para evacuação de pessoas através de pontos específicos. Os objetivos estavam relacionados com a quantidade de pessoas evacuadas, custo, tempo. Foi aplicado estudo de caso no terremoto e tsunami na Indonésia em 2018.

Khorsi et al.(2020) utilizaram um modelo multi-período de transporte e roteamento com frota heterogênea e entrega de suprimentos fracionada em *last-mile*. Os critérios observados foram de custo, tempo e equidade. O modelo foi aplicado a um eventual terremoto na cidade de Teerã.

Huang et al.(2015) desenvolveram um modelo de otimização multiobjetivo para designação de recursos e distribuição de emergência baseado na demanda em tempo real e atualizações de informações de tempo de viagem capturadas simultaneamente, com restrição que considerava a capacidade de veículos. Os objetivos buscados eram vidas salvas, custo de atraso

e igualdade de atendimento. O estudo foi aplicado ao terremoto da província de Sichuan na China em 2008.

Hu et al. (2016) realizaram estudo com a preocupação de como encontrar a fronteira de Pareto completa para otimização de designação de recursos em redução de desastres e governança de risco. Os resultados obtidos demonstraram oferecer melhores soluções aos tomadores de decisão comparadas a uma aproximação. Os critérios utilizados foram custos e aumento do nível de proteção das colheitas e segurança alimentar. Foram realizadas simulações com a vida real, porém sem atrelar a nenhum evento específico.

Goujon (2016) usou um modelo genérico multicritério para aplicação em situações de designação de recursos de busca e salvamento. Os critérios utilizados foram vidas salvas, tempo, acessibilidade.

Cao et al. (2017) consideraram uma ligação teórica entre o desenvolvimento sustentável e a cadeia tradicional de abastecimento de desastres. Defenderam que a falta de um modelo otimizado pode provocar desperdícios e decisões erradas e, assim, aumentar o número de emissões de CO₂. Os critérios utilizados foram tempo, sustentabilidade e custo. O caso foi aplicado ao terremoto de Wenchuan em 2008.

Rodriguez-Espíndola, Albores e Brewster (2018) fizeram abordagem multi-organizacional para localização de instalações, pré-posicionamento de estoque, distribuição e designação de recursos. Eles utilizaram como critérios o custo e o nível de serviço, através da fronteira de Pareto. Os autores concluíram que não basta ter os recursos necessários e, sim, ter os recursos onde realmente é necessário, além de defender o compartilhamento de informações entre os *stakeholders*. O estudo foi aplicado aos alagamentos provocados pelos tornados Ingrid e Manuel que atingiram o México em 2013.

Wang e Sun (2018) desenvolveram um modelo multiobjetivo de designação de recursos de emergência que pode equilibrar eficiência e justiça. Os critérios utilizados foram custo e perdas. Os autores concluíram que os tomadores de decisão devem realizar um equilíbrio entre eficiência e justiça para atender às necessidades materiais de todas as áreas atingidas por desastres o mais rápido possível com o menor custo. O trabalho foi aplicado ao terremoto de Yaán na China.

Gavião et al. (2020) desenvolveram um modelo com base em *Analytic Hierarchy Process* (ARP) para analisar a designação de dois tipos de aeronaves em demandas humanitárias: o C-130 e o KC-390. Os critérios utilizados foram a avaliação por especialistas nas missões realizadas pelas duas aeronaves.

Sarma et al. (2022) utilizaram um algoritmo determinístico para a redução de custos em recursos designados a em um desastre com informações compartilhadas e do uso de um algoritmo genético para resolver o modelo proposto. Foram utilizados como critérios o custo e as prioridades

geradas pelas agências participantes da Operação, tendo em vista as diferentes situações em cada desastre.

Foi feito um resumo com os artigos citados que possuem função objetivo multicritério para ajuda humanitária, com a classificação do Tipo de Problema, os critérios utilizados e o MCDM, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Resumo de bibliografias multicritério

Artigo	Tipo de Problema	Critérios	MCDM
Tirado et al. (2014)	Distribuição	Quantidade, tempo, custo e patrimonio	Programação por meta
Aidonis et al. (2015)	Localização	População, distância, qualidade de infraestrutura	<i>Scalarization</i>
Huang et al. (2015)	Designação e distribuição	vidas salvas, custo do atraso, justiça	<i>Scalarization</i>
Hu et al. (2016)	Designação	Custos e aumento do nível de proteção das colheitas e segurança alimentar	Fronteira de Pareto
Cao et al. (2017)	Designação	Tempo, sustentabilidade e custo	<i>Scalarization</i>
Goujon B. (2017)	Designação	Vidas salvas, tempo, acessibilidade	Algoritmo Genérico
Mejia-Argueta et al. (2018)	Localização e distribuição	tempo de evacuação, tempo de distribuição , custo	Fronteira de Pareto
Rodriguez-Espindola, Albores e Brewster (2018)	Localização, Designação, distribuição	Custo e nível de serviço	Fronteira de Pareto
Wang e Sun (2018)	Designação	Custo, perdas	<i>Swarm Optimization</i>
Laguna-Salvado et al. (2019)	Distribuição	Custo, sustentabilidade	Otimização Lexicográfica
Gaviao et al. (2020)	Designação	Tipos de missão	AHP
Flores et al. (2020)	Transporte	Quantidade de pessoas evacuadas, custo, tempo	Programação por meta
Khorsi et al. (2020)	Transporte, roteamento	Custo, tempo, a equidade	Fronteira de Pareto
Sarma et al. (2022)	Designação	Custo, prioridade	Algoritmo Genético

Fonte: Elaboração propria

A partir da pesquisa realizada foi possível constatar a lacuna na literatura relacionada a designação multicritério de aeronaves em uma operação humanitária. Na tabulação de artigos determinísticos realizada, fica claro que os critérios mais utilizados nos artigos revisados foram custo e tempo, presente em 78% e 50% respectivamente dos trabalhos, na mesma linha que Gutjar e Nohlz (2016). Foi possível perceber também que, na maior parte dos artigos, a designação fazia referência a recursos propriamente ditos, e não a designação de um ativo, como um veículo por exemplo, com exceção de Gavião et al. (2020). Por último, o MCDM mais comum foi a Fronteira de Pareto, presente em 28 % dos artigos.

A técnica da Frente de Pareto, fundamental na otimização multicritério, tem suas raízes nas ideias de Vilfredo Pareto, um economista e sociólogo italiano, cujo trabalho no final do século XIX lançou as bases para esta abordagem (Ehrghott, 2005). Pareto introduziu o conceito em 1896, conforme citado na edição em inglês de 1906 de seu livro. Ele descreveu um cenário em que os membros de uma coletividade alcançaram o que ele chamou de "*maximum ophelimity*" (um termo que ele usou para descrever bem-estar ou satisfação) em uma posição particular. Segundo Pareto, a *maximum ophelimity* ocorre quando é impossível fazer uma pequena alteração na posição atual, de modo que a satisfação de cada indivíduo na coletividade aumente ou diminua. Em outras palavras, qualquer pequeno deslocamento da posição atual teria o efeito de aumentar a satisfação de alguns indivíduos enquanto diminui a de outros.

A Fronteira de Pareto, um conceito fundamental na otimização multiobjetivo, desempenha um papel crucial na identificação de soluções ótimas em problemas que envolvem múltiplos objetivos. Cabe ressaltar que, o termo otimização multiobjetivo é frequentemente visto como equivalente à otimização de Pareto (GUTJAHR; NOLZ, 2016).

Diferentemente da otimização de objetivo único, onde o foco principal está no espaço das variáveis de decisão, na otimização multiobjetivo, o interesse costuma estar no espaço objetivo (MIETTINEN, 1999). De acordo com a definição de Fronteira de Pareto, mover-se de uma solução ótima de Pareto para outra implica em fazer trocas ou compensações. Este é um conceito básico na otimização multiobjetivo.

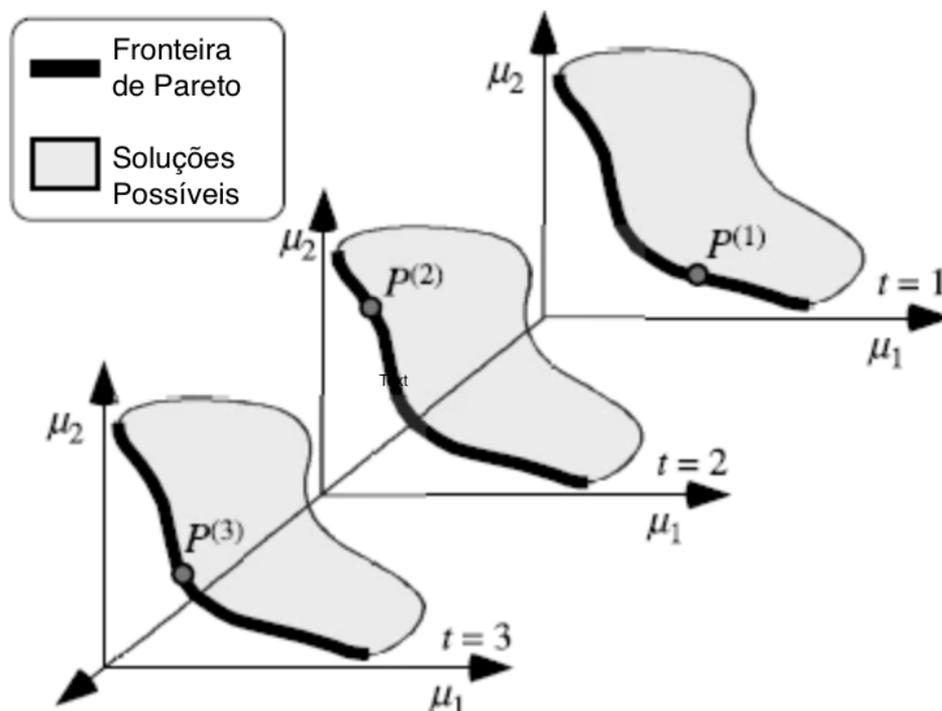
Messac e Mattson (2002) exploram a Fronteira de Pareto e o conceito de não dominância no contexto da otimização multiobjetivo, focando em aplicações na engenharia. Eles enfatizam que o processo de modelagem frequentemente envolve o desafio de resolver objetivos conflitantes de forma eficiente e eficaz. Os autores destacam a importância de gerar um conjunto de soluções viáveis, comumente conhecidas como soluções de Pareto, em situações em que melhorar um aspecto só é possível ao comprometer outro, refletindo uma das principais noções da otimização multiobjetivo.

A projeção de uma solução ótima de Pareto no espaço objetivo é chamada de ponto de Pareto. Todos os pontos de Pareto, ou seja, as projeções de todas as soluções ótimas de Pareto, compõem a frente de Pareto completa de uma otimização de problemas multiobjetivo (HU *et al.*, 2016).

Na prática, a Fronteira de Pareto oferece uma representação visual dos compromissos que precisam ser feitos entre diferentes objetivos (LEWIS; TACKETT; MATTSON, 2014). Na Figura 7, estão representados os objetivos μ_1 e μ_2 que funcionam como variáveis de otimização que são minimizadas ou maximizadas. A localização dos pontos P(1), P(2) e P(3) na Fronteira de Pareto ilustra as diferentes soluções de compromisso alcançadas em diferentes momentos. Cada ponto

reflete uma combinação específica de valores para μ_1 e μ_2 , demonstrando como os *trade-offs* entre esses dois objetivos se alteram em diferentes estágios. Esta visualização é vital para os tomadores de decisão, pois permite uma compreensão clara de como a melhoria em um objetivo pode afetar outro, ajudando-os a fazer escolhas informadas e equilibradas em situações complexas.

Figura 7: Demonstração Gráfica da Fronteira de Pareto



Copiado de: Lewis, Tacket, Mattson, 2014

Rodriguez-Espíndola, Albores e Brewster (2018) destacam a importância de integrar a Fronteira de Pareto em sistemas de apoio à decisão para gestão de desastres, demonstrando como essa técnica pode facilitar a tomada de decisões complexas ao fornecer um conjunto de soluções que equilibram de maneira ideal diferentes objetivos, como custo, tempo de resposta e cobertura da ajuda.

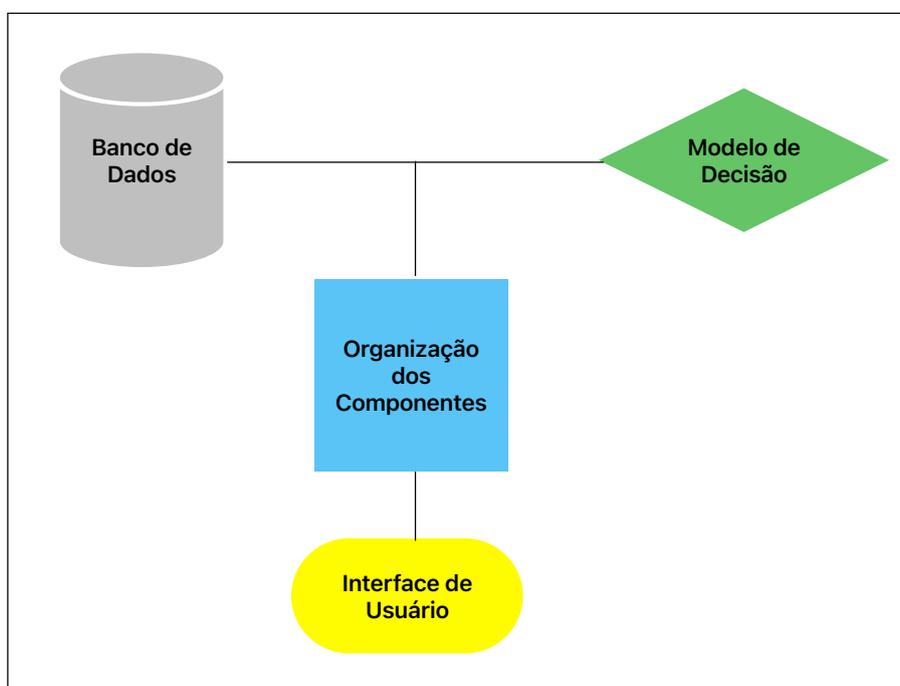
2.4. Sistemas de Suporte a Decisão

Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) são uma abordagem integrativa que coloca os computadores como elementos centrais no processo de tomada de decisão. Este conceito, que tem ganhado destaque desde os anos 70, é interpretado de várias maneiras, variando desde sistemas interativos para uso gerencial até ferramentas que enfatizam o suporte ao processo decisório em si, utilizando tecnologias disponíveis e adequadas (KEEN, 1980).

Os SSD são sistemas computacionais interativos projetados para ajudar tomadores de decisão na análise de problemas complexos e na formulação de estratégias eficazes. Eles integram dados, modelos analíticos e algoritmos sofisticados para facilitar a interpretação de grandes volumes de informações, permitindo uma tomada de decisão com mais informações baseada em dados. A relevância dos SSD reside na sua capacidade de transformar dados brutos em *insights* acionáveis, fornecendo uma base sólida para decisões estratégicas em ambientes dinâmicos e incertos (POWER, 2002).

Segundo Power (2002), um SSD é composto principalmente por quatro componentes principais: a interface do usuário, o banco de dados, os modelos e organização dos componentes, conforme Figura 8.

Figura 8: Modelo Básico SSD



Fonte: Tradução de Power (2002)

A interface de usuário é de grande importância para um SSD. Tal fato é inegável, como evidenciado pela evolução de arquiteturas "*thick-client*", uma arquitetura onde a maior parte do processamento é realizada pelo usuário, para "*thin-client*", uma arquitetura onde o cliente realiza o mínimo de processamento. Esta mudança reflete um esforço para tornar os SSD mais acessíveis e eficientes, permitindo uma maior flexibilidade e usabilidade.

O banco de dados e o modelo de decisão são componentes essenciais que definem a eficácia de um DSS. Bancos de dados, como *data warehouses*, organizam e armazenam dados

críticos, enquanto modelos analíticos e ferramentas permitem previsões e análises complexas. Essa combinação de dados estruturados e ferramentas avançadas é fundamental para suportar decisões estruturadas e baseadas em evidências.

Finalmente, a organização do SSD é crucial para a integração e o funcionamento eficiente do sistema. A organização define como os componentes são organizados e interconectados, de forma a garantir a distribuição adequada dos recursos do sistema. Essa estrutura subjacente é vital para garantir que o programa seja escalável, seguro e adaptável às necessidades em constante mudança das organizações.

Os SSD têm ganhado destaque no contexto de desastres naturais devido à crescente frequência desses eventos em um cenário de aquecimento global. Esses sistemas são fundamentais para melhorar a capacidade de resposta a desastres, auxiliando na tomada de decisões rápidas e eficazes em situações de emergência (ZHOU *et al.*, 2018).

Em situações de desastres naturais inesperados, os gestores de emergência enfrentam desafios complexos e dinâmicos. A eficiência no processo de tomada de decisão de emergência é fundamental, exigindo respostas rápidas e eficazes. Zhou et al. (2018) enfatizam a importância da análise de dados neste contexto, fornecendo suporte inteligente e intuitivo para facilitar decisões ágeis por parte dos gestores. Neste âmbito, destaca-se o desenvolvimento de SSD, que são sistemas interativos homem-computador, desempenhando um papel crucial na assistência aos tomadores de decisão.

2.5. Modelagem Matemática

Altay (2013) desenvolveu um modelo de designação de recursos baseado em capacidade para uma resposta eficaz a desastres. O modelo utilizou como base o problema geral de designação de recursos (Winston, 2004). Foram utilizadas três organizações responsáveis por prover os suprimentos e dois locais que receberam os materiais de alívio.

Apte & Yohko (2018) também se concentraram na designação de recursos, que é uma grande preocupação na assistência humanitária e no alívio de desastres para alcançar eficiência e eficácia. Os autores utilizaram uma simplificação do modelo de Altay (2013), onde existia apenas uma organização provedora e um local que receberia ajuda humanitária.

O trabalho de Apte & Yoko (2018) tinha como tema a seleção de recursos específicos em apoio a operações humanitárias pela Marinha dos Estados Unidos (USN). Elas desenvolveram um modelo de otimização com função objetivo que minimizava os custos para analisar o emprego de meios navais, considerando pesos dados por especialistas de acordo com as características do navio, pois foi observado pelas autoras que em atendimentos a desastres anteriores, a USN

enviava quaisquer navios que estivessem mais próximos, sem uma prévia seleção de suas capacidades.

Além disso, o modelo proposto era simples para a elaboração do planejamento no nível estratégico e operacional, através de planilhas geradas aos decisores militares da USN. O conceito é aproveitar uma frota heterogênea de navios, escolhendo aqueles que possuísem melhor capacidade para atender uma demanda humanitária com baixo custo operacional. A seguir, segue o modelo desenvolvido por Apte & Yoko (2018).

- I = conjunto de recursos (navios), para $i \in I$; J = conjunto de capacidades, para $j \in J$;
- D_j = Demanda por capacidade, para $j \in J$;
- $\{n_{ij}\}_{I \times J}$ = capacidade de um navio $i \in I$ para a capacidade $j \in J$;
- b_i = custo diário da operação de um navio $i \in I$; e
- $n_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{se } i \text{ é capacitado para } j \\ 1, & \text{se } i \text{ é de alguma forma capacitado para } j \\ 0, & \text{se } i \text{ não é capacitado para } j \end{cases}$

Variável de decisão: Y_i = número de navios $i \in I$.

$$\text{Minimizar } \sum_{i \in I} b_i Y_i, \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{i \in I} n_{ij} Y_i \geq D_j \quad \forall j \in J, \quad (2)$$

$$Y_i \text{ Inteiro } \forall i \in I. \quad (3)$$

- (1) Função objetivo: minimiza o custo da soma do custo diário dos navios $i \in I$, obtendo-se assim o custo total.
- (2) Restrição para garantir que a demanda por capacidade seja atendida pelo conjunto de barcos designados.
- (3) Restrição que assegura que navios fracionados não sejam designados.

O modelo apresentado serviu como base inicial para o desenvolvimento da modelagem matemática do presente trabalho, agregando-se a ele características multicritério e o contexto da FAB no atendimento de desastres brasileiros.

3. METODOLOGIA E MODELAGEM

O trabalho foi dividido em duas fases distintas. Em uma primeira etapa foi desenvolvido o modelo com foco na otimização do custo do transporte de suprimentos destinados a uma operação humanitária, e a sua respectiva avaliação através do estudo de caso específico para a Operação Acolhida em Boa Vista. Posteriormente, a pesquisa avançou para o desenvolvimento do SSD e à realização de testes em um modelo multicritério, visando aprimorar a eficiência e a eficácia do processo de tomada de decisões.

3.1. Desenvolvimento do Modelo de Otimização

O modelo desenvolvido utilizou dados provenientes da atuação da Força Aérea Brasileira na mobilização inicial da Operação Acolhida, que foi acionada devido à crise migratória ocorrida no início de 2018 no Estado de Roraima, que faz fronteira com a Venezuela. A operação tem como objetivo garantir atendimento aos refugiados e migrantes venezuelanos e consiste na realocação voluntária, segura, ordenada e gratuita dessas pessoas.

A situação dos refugiados provenientes da Venezuela é particularmente grave, refletindo uma crise humanitária significativa. De fato, quase três quartos de todos os refugiados sob o mandato da UNCHR e outras pessoas que necessitam de proteção internacional vêm de apenas cinco países, com a Venezuela figurando na terceira colocação e um total de 6,1 milhões de migrantes (UNCHR, 2023). Esta estatística demonstra a magnitude do êxodo venezuelano, exacerbado por questões econômicas, políticas e sociais, que tem forçado milhões de pessoas a buscar segurança e melhores condições de vida fora de suas fronteiras.

O Brasil é o quarto destino mais procurado para migração (UNCHR, 2023). O Estado de Roraima foi a principal rota desses migrantes, por estar localizado na fronteira com a Venezuela. Em janeiro de 2018 havia cerca de 40.000 venezuelanos no Estado (FOLHA DE SÃO PAULO, 2018), sendo que Roraima tinha uma população projetada de aproximadamente 546.885 pessoas em 2017 (IBGE, 2023). Isso levou à sobrecarga dos serviços públicos nas cidades de Roraima, principalmente Pacaraima, na divisa, e Boa Vista, capital de Roraima e acionamento da Operação Acolhida.

Para realizar a mobilização inicial da Operação Acolhida foram designadas aeronaves cargueiras da FAB para transporte de materiais que viabilizaram a montagem da infraestrutura inicial em locais-chave no Estado de Roraima. Estruturas de apoio (abrigo, depósito) foram montadas para refugiados em Pacaraima e Boa Vista, que possui uma base aérea. A base aérea permitiu o transporte de materiais por via aérea e possibilitou um atendimento mais rápido.

Utilizando como referência a Operação Acolhida, o problema de pesquisa visa a designação multicritério de aeronaves de carga da FAB em uma operação humanitária com longa

distância. O modelo tem como objetivo trazer respostas estratégicas e operativas, onde grandes distâncias e atendimento rápido são importantes, ao contrário de movimentações locais, onde aeronaves de asa rotativa e asa fixa de menor porte são mais relevantes na resposta direta, como foi o caso nas enchentes que ocorreram em Santa Catarina em 2008 e deslizamentos de terra no Rio de Janeiro em 2012.

As aeronaves da FAB utilizadas para o transporte de suprimentos humanitários foram classificadas como aeronaves de transporte. A Tabela 3 mostra as características de cada modelo de aeronave são mencionadas.

Tabela 3: Aeronaves de transporte de carga FAB

	Aeronave	Envergadura(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Velocidade Máxima (Km/h)	Peso Suportado (ton)
	C-767	47.6	48.5	5.41	913	28
	C-130 (Hercules)	40.41	29.81	11.68	621	14
	C-105 (Amazonas)	25.81	24.45	8.66	474	5
	C-99	20.04	29.87	6.76	828	1.2
	C-98 (Caravan)	15.32	14.23	4.73	454	0.55
	C-97 (Brasilia)	19.78	20	6.35	583	0.7
	C-95 (Bandeirante)	15.08	11.46	4.32	340	0.8

Fonte: Adaptado de FAB (www.fab.mil.br)

O modelo desenvolvido tem o objetivo de gerar uma resposta eficiente em situações de atendimento humanitário, e representa uma adaptação do modelo proposto por Apte & Yoko (2018). Este modelo ajustado é orientado para a minimização dos custos operacionais envolvidos no uso de diferentes tipos de aeronaves, cada uma com suas capacidades distintas, em contextos de crises humanitárias. A adaptação busca alinhar as metodologias e abordagens de Apte & Yoko (2018) às especificidades e exigências das operações aéreas em situações emergenciais. Para o modelo de otimização, foi utilizada a seguinte notação:

- I = conjunto de recursos (tipos de aeronaves), para $i \in I$;
- J = conjunto de capacidades, para $j \in J$;
- d_j = Demanda de suprimentos (t/período), para $j \in J$;
- a_i = Disponibilidade (voos por período);
- w_i = Frete máximo por voo para cada aeronave tipo $i \in I$ (t/voo);
- h_i = Custo de hora de voo da aeronave tipo $i \in I$ (\$/hora de voo); e

Variável de decisão: Y_i = número de voos por tipo de aeronave $i \in I$ (voo/período).

$$\text{Minimizar } \sum_{i \in I} h_i Y_i, \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{i \in I} w_i Y_i \geq d_j \quad (2)$$

$$Y_i \leq a_i \quad (3)$$

$$Y_i \geq 0 \quad (4)$$

$$Y_i \text{ Inteiro}, \forall i \in I \quad (5)$$

- (1) Função objetivo: minimiza o custo dos voos por aeronave do tipo $i \in I$ somado sobre todos os voos, obtendo-se assim o custo total.
- (2) Restrição para garantir que a demanda por capacidade seja atendida pela aeronave designada.
- (3) Restrição para garantir que o número de voos não excederá a disponibilidade;
- (4) Restrição que garante a não negatividade das soluções; e
- (5) Restrição que assegura que voos fracionados não sejam possíveis.

A otimização foi efetuada utilizando o Microsoft Excel Solver. Esta ferramenta, conhecida por sua eficiência em resolver problemas de programação linear, permitiu uma análise detalhada e precisa dos dados. Através do Solver, foi possível manipular variáveis múltiplas, ajustar parâmetros e encontrar soluções ótimas que atendessem aos critérios estabelecidos para o modelo.

O custo logístico da hora de voo (CLHV) foi obtido através da metodologia existente na Instrução do Comando da Aeronáutica (BRASIL, 2010). O CLHV é uma informação restrita. Sendo assim, os dados de custo foram disfarçados.

O peso da carga suportada pela aeronave varia de acordo com o número de pousos para reabastecimento, dentro do limite fornecido pelo fabricante. Ou seja, é possível transportar uma quantidade maior de carga, porém realizando mais reabastecimentos, o que aumenta o tempo de voo. Portanto, foi considerada a carga média praticada, para não gerar um grande número de paradas para reabastecimento, aproximando-se de uma operação realizada diariamente, conforme dados coletados com especialistas de cada aeronave. Metodologia semelhante foi utilizada para o tempo de voo de cada aeronave.

Para os cálculos realizados neste estudo, optou-se por uma abordagem focada nas horas de voo efetivas das aeronaves envolvidas. Esta metodologia excluiu o tempo gasto em solo, particularmente os períodos necessários para operações de reabastecimento e manutenção.

O cálculo do total de horas de voo para cada aeronave incorporou as viagens completas, abrangendo tanto a ida quanto a volta entre a cidade de origem e o destino. Adicionalmente, foi considerada uma disponibilidade operacional plena da frota, estimando-se um cenário em que

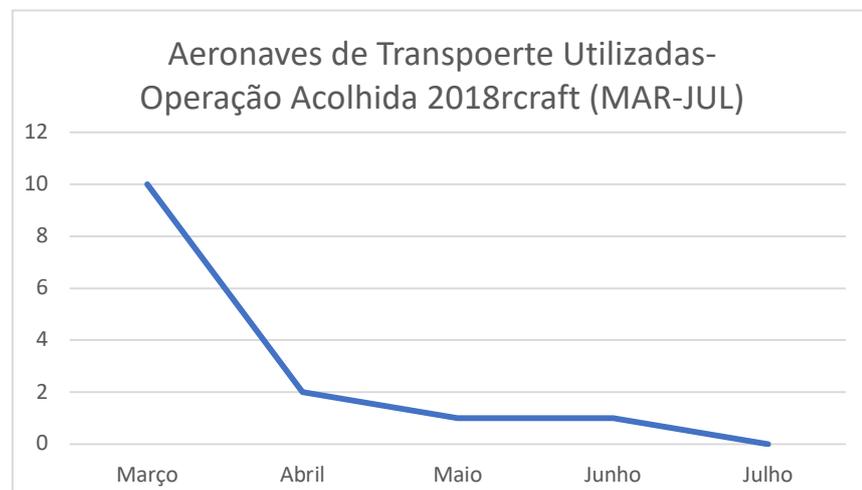
100% das aeronaves estivessem em condições de realizar esses voos sem interrupções ou restrições.

Cabe ressaltar que foi considerado como 12 horas o limite do esforço diário de horas de voo, a fim de evitar fadiga da tripulação.

Levou-se em conta que, caso as horas requeridas para completar a missão excedessem o tempo disponível para o ciclo completo de ida e volta, haveria uma redução proporcional na quantidade de aeronaves disponíveis. Isso significa que, se uma aeronave necessitasse do dobro do tempo disponível em um dia, a frota efetivamente disponível seria ajustada para metade do número originalmente planejado.

Foram levados em consideração os voos realizados no período do mês de março de 2018, correspondentes à fase crítica de implantação inicial da Operação Acolhida. Este período foi crucial para a operação e está claramente ilustrado na Figura 9, que apresenta um detalhamento dos acionamentos de aeronaves de carga utilizadas naquela fase. Este enfoque e as conclusões derivadas baseiam-se no Relatório COMAE (SILVA, 2020). No entanto, a quantidade total de carga transportada não estava disponível. Portanto, considerou-se que as aeronaves foram aproveitadas ao máximo.

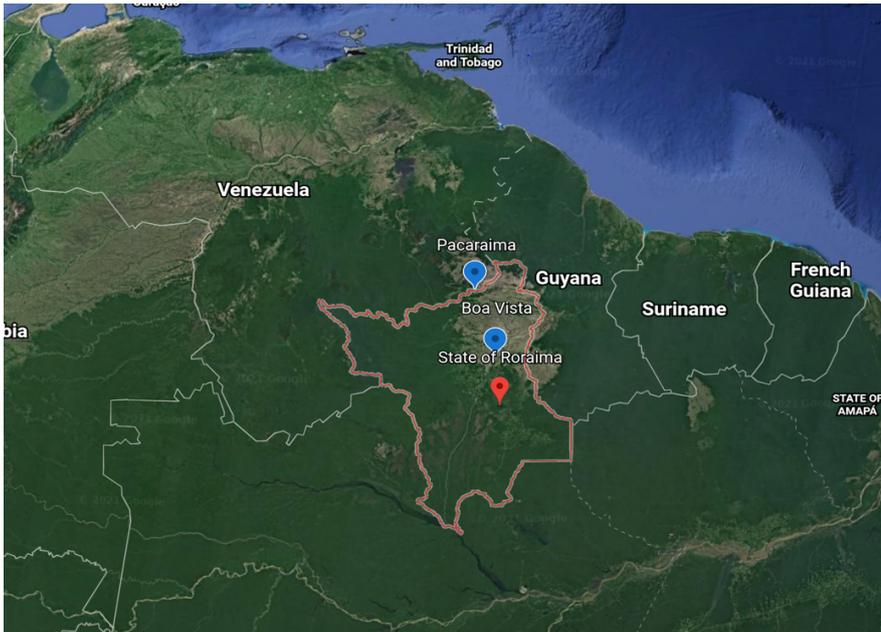
Figura 9: Aeronaves de Carga da FAB MAR-JUL 2018



Fonte: Relatório COMAE (SILVA, 2020)

A maioria dos refugiados da Venezuela entrou por Pacaraima e, devido à sua posição geográfica, foi acionada a Base de Apoio de Pacaraima (SOUZA, 2019), desdobramento realizado pela Base de Apoio Logístico do Exército, localizada no Rio de Janeiro. A cidade de Pacaraima está localizada na fronteira entre Brasil e Venezuela. Na Cidade de Boa Vista, Capital do Estado de Roraima, foi acionada outra base de atendimento para a operação. Através da Figura 10 é possível visualizar o mapa da região descrita.

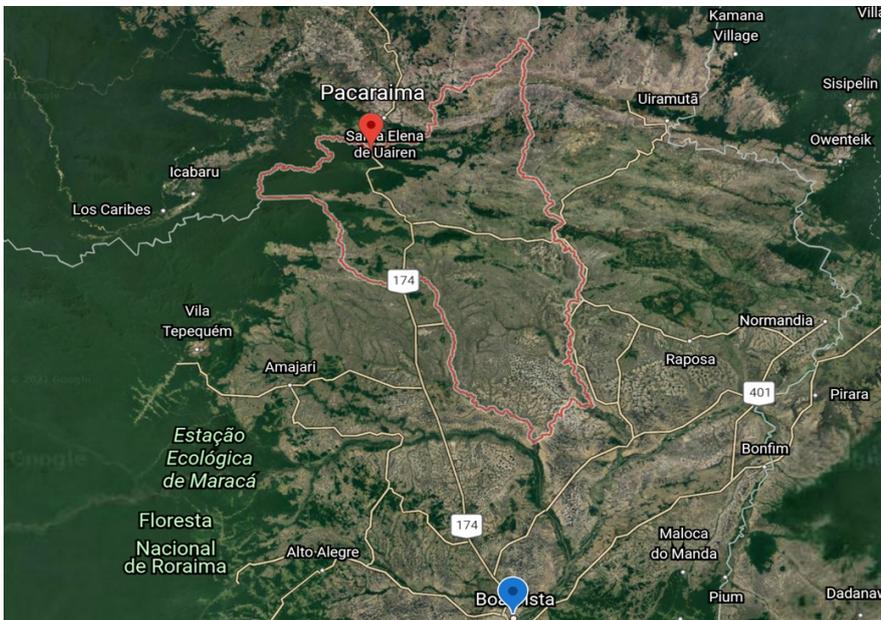
Figura 10: Visão geral da região de Roraima



Fonte: Google Earth

A distância entre Pacaraima e Boa Vista é de 212 quilômetros, e existe uma rodovia que liga as duas cidades, a BR 174, como pode ser visto na Figura 11.

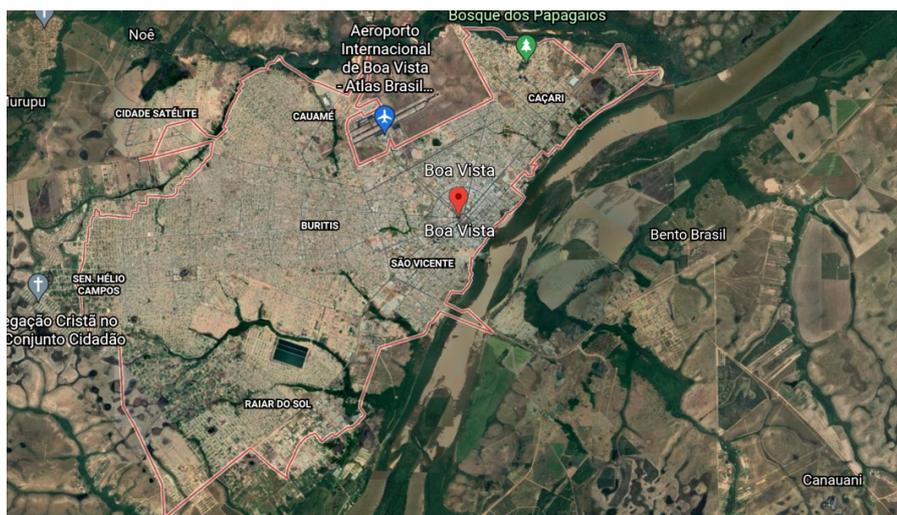
Figura 11: Mapa de Roraima



Fonte: Google Earth

Na cidade de Boa Vista existe um aeroporto internacional (BV). Sua pista permite o pouso e decolagem de todas as aeronaves de transporte da FAB existentes. Junto à pista do aeroporto encontra-se a Base Aérea da Boa Vista da FAB que proporcionou boas condições para a operação logística de carga e descarga de aeronaves. A Figura 12 ilustra a cidade de Boa Vista e o aeroporto internacional.

Figura 12: Mapa de Boa Vista



Fonte: Google Earth

Os meios e recursos materiais para a montagem das instalações da Operação Acolhida foram deslocadas principalmente do Rio de Janeiro, onde está sediada a Base de Apoio Logístico do Exército, que possui expertise no desdobramento de grandes estruturas semipermanentes em atividades de apoio logístico às tropas em operações nos grandes eventos, e que era responsável pela coordenação logística da carga a ser movimentada para Boa Vista (ROCHA; BITENCOURT, 2020). Também estão localizados no Rio a Base Aérea do Galeão (GL), sede dos Esquadrões de Aeronaves de Transporte da FAB, e o Centro de Transporte Logístico da Aeronáutica, onde ocorre a preparação e consolidação de cargas. Portanto, para o presente trabalho, a cidade do Rio de Janeiro foi considerada como a única origem no modelo proposto.

As missões realizadas para atender a Operação Acolhida foram obtidas a partir de relatório do Comando de Operações Aeroespaciais (SILVA, 2020).

Sendo assim, o primeiro modelo utilizado no presente trabalho foi inicialmente desenvolvido para minimizar os custos operacionais envolvidos no uso de diferentes tipos de aeronaves com capacidades distintas em crises humanitárias e aplicado na Operação Acolhida. A aplicação desse modelo mostrou-se eficiente na redução de custos. Contudo, com o intuito realizar aprimoramentos para aumentar a eficácia do modelo em ambientes humanitários dinâmicos, assim como propiciar melhores condições para o tomador de decisão, foram incorporadas modificações significativas, conforme será demonstrado no capítulo 4.

3.2. Desenvolvimento do SSD

Após a formulação inicial do modelo de designação de aeronaves, focado primariamente na minimização de custos, observou-se a necessidade de aprimoramentos para ampliar sua eficácia em ambientes humanitários dinâmicos. O modelo original, embora eficiente na redução de custos, exigia múltiplas execuções para realizar uma análise de sensibilidade abrangente. Visando superar essas limitações, esta subseção detalha as modificações e melhorias efetuadas no modelo, bem como o desenvolvimento do SSD.

O Sistema de Suporte à Decisão (SSD) foi projetado com a escolha de pacotes e sistemas baseada em critérios de eficiência, flexibilidade e robustez. O SSD possui interface web no front-end, criada utilizando o Flask Framework, que foi selecionado devido à sua leveza e simplicidade na criação de interfaces web, permitindo uma rápida prototipagem e desenvolvimento ágil. A utilização de *HTML* e *JavaScript* para renderização de páginas, formulários e gráficos interativos garante uma experiência de usuário dinâmica e responsiva. No *back-end*, a linguagem *Python* se destacou por sua versatilidade e ampla adoção na comunidade científica e de engenharia. Além disso, bibliotecas como *Gurobi*, *Pandas* e *Plotly* foram incorporadas para fornecer capacidades avançadas de processamento e análise de dados. *Gurobi* é reconhecido pela sua eficiência na resolução de problemas de otimização, enquanto *Pandas* facilita a manipulação e análise de grandes conjuntos de dados. *Plotly*, por sua vez, oferece ferramentas poderosas para a criação de visualizações interativas, essenciais para a interpretação dos resultados. Essas escolhas técnicas asseguram que o SSD se tornasse uma ferramenta eficaz e confiável para suporte à decisão em contextos complexos e variados.

Algumas modificações foram incorporadas ao modelo de designação de aeronaves. A primeira mudança relevante foi a alteração da variável de decisão para um formato binário. Com essa transformação, as aeronaves passaram a ter um tratamento singularizado das aeronaves, atribuindo a cada uma um estado distinto, em vez de uma classificação coletiva por tipo. Essa nova abordagem permitiu uma análise mais detalhada e flexível da alocação de recursos, pois com esse aperfeiçoamento, tornou-se desnecessário pressupor uma disponibilidade de frota constante de 100%. Isso conferiu ao tomador de decisão a flexibilidade de selecionar quais aeronaves deveriam ser consideradas no processo de designação, possibilitando uma gestão mais estratégica e eficiente do inventário de aeronaves disponíveis para a missão. Além disso, com essa modificação é possível pontuar eventuais indisponibilidades de aeronaves específicas.

Adicionalmente, foi integrado ao modelo um novo objetivo, referido como T , que representa o somatório dos tempos de viagem das aeronaves alocadas. Esse objetivo é crucial para a eficiência operacional, pois permite o cálculo acumulado do tempo despendido em voo por

todas as aeronaves consideradas, fornecendo uma medida compreensiva do tempo total investido nas operações de voo.

Outra mudança foi a implementação de uma função biobjetivo, que consiste na minimização simultânea de custo e tempo. Como os objetivos estavam em diferentes escalas, foi necessário realizar a normalização dessas métricas por meio da técnica de min-max. Esta abordagem permitiu a equalização das escalas, facilitando a comparação direta e a agregação dos critérios, fato que propiciou a busca por soluções ótimas, tanto em termos econômicos quanto temporais. Este modelo aprimorado representa um passo significativo no desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão mais robustos e eficazes para a gestão de operações aéreas em contextos humanitários.

No desenvolvimento do modelo biobjetivo proposto, é empregado um parâmetro alfa (α) que assume valores no intervalo fechado (0,1), permitindo a ponderação diferenciada dos objetivos de custo e tempo. Esse parâmetro é fundamental para ajustar os pesos relativos atribuídos a cada função objetivo, onde α é aplicado ao objetivo de custo e $(1-\alpha)$ ao objetivo de tempo. Através deste mecanismo, o modelo adquire a flexibilidade de explorar o trade-off entre os dois objetivos, facilitando a identificação de soluções que balanceiam eficientemente os custos e os tempos de viagem. A soma ponderada, resultante da aplicação desses pesos, é então resolvida utilizando técnicas apropriadas para revelar o espectro de soluções ótimas possíveis e para analisar as compensações entre os critérios estabelecidos. Este método de linearização não apenas simplifica a resolução do modelo biobjetivo, mas também proporciona uma análise detalhada dos resultados, permitindo ao tomador de decisão identificar a configuração mais vantajosa conforme as prioridades operacionais.

- I = conjunto de recursos (tipos de aeronaves), para $i \in I$;
- J = conjunto de capacidades, para $j \in J$;
- d = demanda de suprimentos em tonelada no destino;
- a_i = Disponibilidade (voos por período);
- w_i = quantidade de carga em tonelada que uma aeronave do tipo i pode transportar;
- s_i = tempo do ciclo de viagem (ida e volta) de uma aeronave i ;
- t_i = quantidade de horas de voo da aeronave i ;
- α = peso dado a cada critério; e
- c_i = custo operacional por viagem de uma aeronave i ;

Variável de decisão: X_{ij} = variável binária de uma aeronave i no voo disponível j

Objetivo 1: Custo

$$C = \sum_{i \in I} c_i X_{ij} \quad (1)$$

Objetivo 2: Tempo

$$T \quad (2)$$

Função Biobjetivo: Custo e Tempo

$$\text{Minimizar } \alpha C + (1 - \alpha)T \quad (3)$$

Restrições

$$\sum_{i \in I} w_i X_{ij} \geq d \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} s_i X_{ij} \geq T \quad (5)$$

$$X_{ij} \geq X_{ij+1} \quad (6)$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se voo } j \text{ da aeronave } i \text{ for designado} \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (7)$$

- (1) Minimiza o custo do somatório das aeronaves alocadas i em uma viagem j . Modelo passou a tratar cada aeronave como um individuo e não mais um grupo de aeronaves pelo modelo.
- (2) Minimiza o tempo da operação
- (3) Função biobjetivo de custo e tempo
- (4) Restrição de capacidade
- (5) Garante que não poderá haver tempo menor que T
- (6) Restrição que garante que as viagens disponíveis não se repetirão
- (7) Variável de decisão binária

Este estudo concentrou-se na análise de aeronaves específicas empregadas no Sistema de Suporte à Decisão (SSD), nomeadamente o C-767, KC-390, C-130, C-105 e C-99. A escolha destas aeronaves baseou-se na necessidade de transportar grandes volumes de carga por longas distâncias, o que exclui aeronaves com menor raio de ação, além de aeronaves de asas rotativas. Como critério essencial para a seleção, cada aeronave incluída neste estudo apresenta a

capacidade de carregar, no mínimo, uma tonelada de carga em uma operação padrão. Essa especificação foi fundamental para atender aos objetivos do presente trabalho, garantindo a relevância e aplicabilidade dos dados coletados no contexto do transporte aéreo de carga de grande porte.

Os CLHV adotados para as aeronaves analisadas correspondem aos do ano de 2018, ano de ativação da Operação Acolhida. Contudo, uma exceção foi feita para o KC-390, cuja operacionalização iniciou-se apenas no final de 2019. Em razão disso, para esta aeronave específica, considerou-se o CLHV referente ao ano de 2020. Tal ajuste assegura a precisão e a atualidade dos dados financeiros relacionados ao uso do KC-390, alinhando-os com o contexto temporal de sua efetiva entrada em serviço.

Do ponto de vista de locais a serem atendidos, além de Boa Vista, foram utilizados outros destinos finais potenciais hipotéticos. Foram escolhidas mais três cidades brasileiras de relevância estratégica: Foz do Iguaçu, Salvador e Rio Branco. A escolha para o estudo foi baseada em critérios estratégicos de localização e histórico de eventos climáticos adversos. Foz do Iguaçu, situada na tríplice fronteira entre Brasil, Argentina e Paraguai, é uma cidade de importância geopolítica e logística, facilitando operações transfronteiriças e a coordenação de esforços humanitários em regiões vizinhas. Rio Branco, localizada na Amazônia ocidental e próxima às fronteiras com Bolívia e Peru, é uma posição estratégica para o estudo devido à sua proximidade com outros países, o que permite avaliar a eficácia do sistema em operações de resposta que envolvam cooperação internacional. Salvador, por sua vez, possui um histórico significativo de eventos climáticos extremos, como chuvas torrenciais e inundações, o que a torna um cenário ideal para testar e validar a eficácia de sistemas de gerenciamento de desastres.

A seleção dessas cidades permite uma análise abrangente das capacidades do Sistema de Suporte à Decisão (SSD) em diferentes contextos geográficos e climáticos, proporcionando conhecimentos valiosos para aprimorar a resposta a emergências em regiões vulneráveis. Além disso, simular diferentes cenários operacionais e desafios logísticos, possibilita uma visão abrangente sobre a eficácia do modelo de designação de aeronaves em diversas condições geográficas e operacionais. Esta abordagem ampliou o escopo do estudo, permitindo uma análise mais rica e diversificada das possibilidades e desafios envolvidos em operações humanitárias em diferentes regiões do Brasil.

3.2.1. Localidade Hipotética 1: Foz do Iguaçu

A Argentina, que possui uma população de aproximadamente 46 milhões (Worldometer, 2023), enfrenta uma crise econômica severa, com inflação de 94,8% em 2022 (CNN Brasil, 2023) e 142,7% doze meses acumulado até outubro de 2023 (Folha de São Paulo, 2023). Adicionalmente,

a crise econômica argentina é agravada por altos índices de pobreza, afetando cerca de 40% da população (O Globo, 2022). A instabilidade política no país, marcada por tensões e disputas entre líderes governamentais, reforça a necessidade de preparação para assistência humanitária.

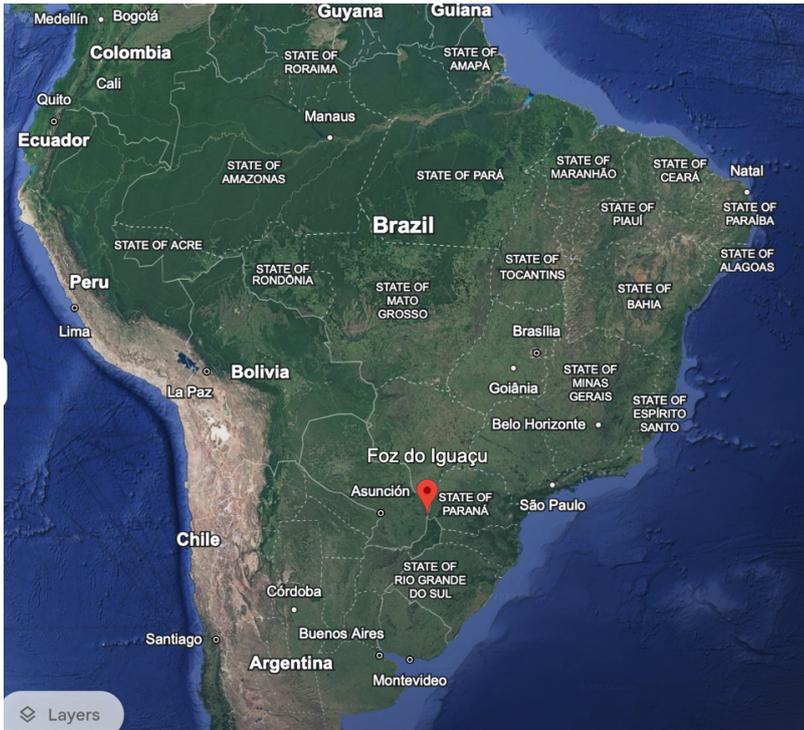
Em 2021, o então Presidente do Brasil, Jair Bolsonaro, discutiu a possibilidade de uma Operação Acolhida no Sul do Brasil para auxiliar argentinos, indicando o papel potencial de Foz do Iguaçu em operações humanitárias (Correio Braziliense, 2021).

Já o Paraguai, com uma população de 7 milhões (Worldometer, 2023), vivenciou uma crise política gerada por um acordo sobre a tarifa de energia de Itaipu em 2019 e descontentamento com a gestão da pandemia, resultando em protestos da população (BBC News Brasil, 2019; DW, 2021). A renúncia do vice-presidente em 2022 por acusações de corrupção ressaltou o cenário de instabilidade (Folha de São Paulo, 2022).

A soma das populações da Argentina e do Paraguai atinge um total de aproximadamente 53 milhões de habitantes, quantidade que representa cerca de 190% da população da Venezuela. Essa combinação de fatores econômicos, sociais e políticos nas nações fronteiriças ressalta a relevância de Foz do Iguaçu como um ponto estratégico para simulações em modelos de operações humanitárias.

Sendo assim, a seleção de Foz do Iguaçu como cidade hipotética no modelo de designação de aeronaves para operações humanitárias é embasada em diversos fatores demográficos e geopolíticos e estratégicos. Com uma população estimada de 285 mil pessoas (IBGE, 2023), Foz do Iguaçu, que fica no Estado do Paraná, se destaca pela sua localização estratégica na fronteira com a Argentina e o Paraguai (Figura 13). A distância até o Rio de Janeiro é de aproximadamente 1200 quilômetros (Figura 14).

Figura 13: Localização de Foz do Iguaçu no Mapa



Fonte: Google Earth

Figure 14: Distância Rio de Janeiro- Foz do Iguaçu



Fonte: Google Earth

3.2.2. Localidade Hipotética 2: Salvador

A cidade de Salvador, localizada no Estado da Bahia, escolhida como um dos destinos para material humanitário no modelo de designação de aeronaves, apresenta características que a tornam particularmente relevante para estudos em operações humanitárias. Com uma população estimada de 2,4 milhões de habitantes (IBGE, 2023), Salvador é um dos maiores centros urbanos

do Nordeste brasileiro e possui um alto número de pessoas vivendo em áreas de risco. Segundo estudo realizado (IBGE, 2018), mais de 1,2 milhão de habitantes de Salvador residiam em áreas consideradas de risco, e foi considerada a cidade com o contingente mais elevado de moradores em áreas de riscos no Brasil. Na Figura 15 pode-se observar a localização de Salvador, bem como sua distância para o Rio de Janeiro (Figura 16), obtida através do *Google Earth*.

Figure 15: Localização de Salvador no Mapa



Fonte: *Google Earth*

Figura 16: Distância Rio de Janeiro- Salvador



Fonte: *Google Earth*

O Aeroporto Internacional de Salvador foi o ponto de destino para um cenário hipotético de uma OH. Essa escolha leva em conta não apenas a densidade populacional da cidade, mas também a sua relevância estratégica em resposta a emergências naturais. A frequência de fenômenos climáticos adversos e desastres naturais no Nordeste do Brasil torna Salvador um local chave para a realização de operações humanitárias, reforçando a importância de modelos de designação de aeronaves que possam atender eficientemente a tais demandas.

Inclusive no ano de 2021, Salvador enfrentou graves enchentes, um desastre que exigiu uma resposta rápida e eficiente para auxiliar as inúmeras vítimas afetadas (FAB, 2021). Neste cenário crítico foram mobilizados recursos e pessoal para reforçar o apoio às vítimas das enchentes na Bahia. A FAB atuou prontamente no transporte de ajuda humanitária, incluindo alimentos, medicamentos e equipamentos essenciais, além de fornecer suporte no resgate e transporte de pessoas em áreas isoladas ou gravemente atingidas. Esta missão humanitária destacou a importância e a capacidade da FAB em responder a emergências nacionais, demonstrando a eficácia de uma coordenação ágil e de uma logística bem planejada em situações de desastres naturais. Na figura 15 pode-se identificar o apoio prestado em Salvador.

Figura 17: Missão Humanitária Salvador 2021



Fonte: Site Oficial da FAB

3.2.3. Localidade Hipotética 3: Rio Branco

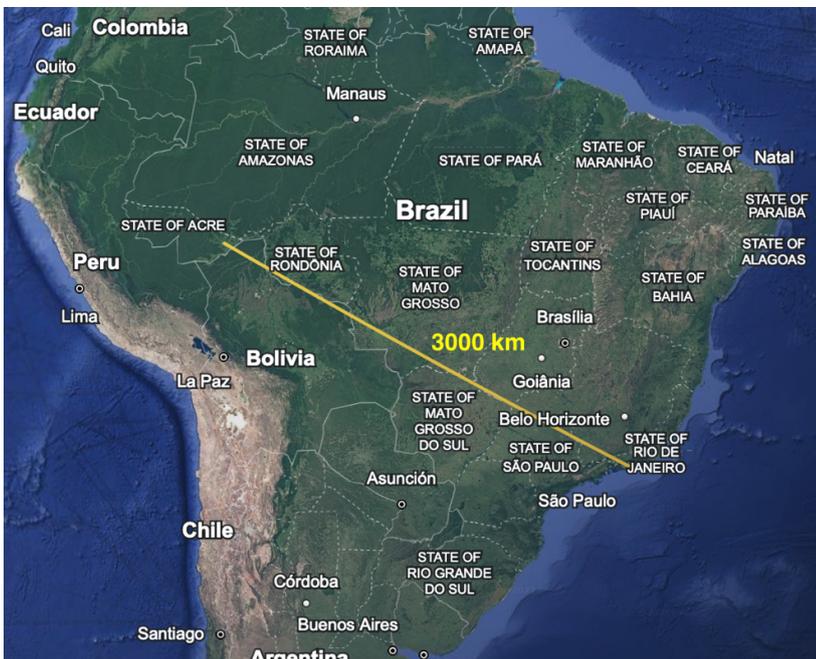
A escolha de Rio Branco como um dos destinos hipotéticos para material humanitário no modelo de designação de aeronaves é embasada em sua posição estratégica e na complexidade política de suas nações vizinhas. Com uma população estimada de 419 mil pessoas (IBGE, 2023) Rio Branco, capital do Acre, situa-se próxima às fronteiras com a Bolívia e o Peru (Figura 18). A distância para o Rio de Janeiro fica em torno de 3000 quilômetros (Figura 19).

Figure 18: Localização no Mapa de Rio Branco



Fonte: Google Earth

Figure 19: Distância do Rio de Janeiro- Rio Branco



Fonte: Google Earth

A Bolívia, com 12 milhões de habitantes (WORLDOMETER, 2023), tem enfrentado instabilidade política significativa. Esta instabilidade é marcada por uma forte polarização entre partidos políticos e tentativas recentes de manipulação eleitoral pelo ex-presidente Evo Morales. O

país é considerado um dos mais politicamente instáveis da América Latina, com um histórico de 193 golpes de Estado desde sua independência em 1825 até 1982, e cinco presidentes diferentes entre 2001 e 2006 (Politize, 2019). Evo Morales, que governou até 2019, enfrentou acusações de fraude em um referendo para alteração da constituição e tentativa de reeleição, perdendo apoio popular e renunciando ao cargo.

Já o Peru, com 34 milhões de habitantes (WORLDMETER, 2023) também vivencia uma crise política profunda. Investigações de corrupção envolvendo o atual presidente e duas tentativas de destituição pelo congresso exacerbaram a situação (POLITIZE, 2023). A operação Lava Jato no Brasil revelou que propinas foram pagas no Peru entre 2005 e 2014. Pedro Pablo Kuczynski, presidente de 2016 a 2018, foi implicado no escândalo Odebrecht e renunciou. Seu sucessor, Martín Vizcarra, com um discurso anticorrupção, dissolveu o Congresso em 2019, levando a uma crise institucional. Mercedes Araóz, nomeada pelo Congresso como presidente, renunciou no primeiro dia, pedindo novas eleições. A decisão do Congresso foi considerada inválida após a dissolução, e as Forças Armadas apoiaram Vizcarra. Em 2021, Pedro Castillo foi eleito presidente e prometeu buscar uma nova constituinte. Entretanto, esse mesmo congresso – juntamente com o Primeiro-Ministro – ignorou a atitude presidencial, aprovou o impeachment e o destituiu do cargo. Logo em seguida, Castillo foi preso por tentativa de golpe, incapacidade moral e corrupção. Com a prisão do ex-presidente, assume em seu lugar sua vice Dina Boluarte. Sem apoio do congresso e principalmente da população, inicia-se nova onda de protestos no Peru.

Peru e Bolívia tem população combinada de 46 milhões, o que representa 164% da população da Venezuela. Portanto, a posição geográfica de Rio Branco aliado ao contexto político complexo e volátil de suas nações vizinhas, e recentes casos de migração na região justificam a escolha como uma das cidades hipotéticas.

3.3. Conclusão do Capítulo

A metodologia adotada neste estudo seguiu uma sequência estruturada e progressiva de etapas, visando a otimização da designação de aeronaves em OH para transporte de materiais de socorro em longa distância. Inicialmente, foi desenvolvido e implementado um modelo de otimização com um único objetivo, que foi aplicado em um experimento inicial durante a Operação Acolhida. Em seguida, avançou-se para o desenvolvimento de um modelo multicritério mais complexo e abrangente, utilizando Python.

Posteriormente, foi realizada uma escolha estratégica das cidades que serviriam como pontos focais para o estudo. Finalmente, como culminação deste processo metodológico, foi desenvolvido o SSD. Este sistema integrou todas as etapas anteriores e forneceu uma ferramenta intuitiva para a tomada de decisões eficiente e estratégica na designação de aeronaves. A Figura

20 ilustra a sequência de etapas adotadas nesta metodologia, proporcionando uma visão geral da progressão do estudo e destacando a abordagem sistemática adotada na pesquisa.

Figura 20: Diagrama Explicativo da Metodologia



Fonte: O autor

4. ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO ACOLHIDA

De acordo com consultas realizadas junto ao CECOMSAER e com base no relatório de Silva (2020), foram identificados 351 atendimentos humanitários realizados entre os anos de 2017 e início de 2022. A Operação Acolhida recebeu 336 voos de apoio da FAB, ou 95,44% do total de voos tabulados para apoio humanitário. Sendo assim, a fase de resposta da Operação Acolhida foi escolhida como experimento do presente estudo.

Mais de dois terços de todos os refugiados no mundo deslocados para o exterior vêm de apenas cinco países (UNCHR, 2023). Nesse contexto, a Venezuela é o terceiro país com mais migrantes, cerca de 4,1 milhões. Isso é consequência da atual instabilidade política e da crise econômica naquele país.

O Brasil foi o quarto destino mais procurado para migração (UNCHR, 2023). De acordo com a Plataforma de Coordenação Interinstitucional para Refugiados e Migrantes da Venezuela (R4V), de 2010 a 2020 havia 287.000 venezuelanos como migrantes naquele país (R4V, 2022). O Estado de Roraima foi a principal rota desses migrantes, por estar localizado na fronteira com a Venezuela. Em janeiro de 2018 havia cerca de 40.000 venezuelanos lá (FOLHA DE SÃO PAULO, 2018); concomitantemente, Roraima tinha uma população de aproximadamente 585.000 pessoas (IBGE, 2022). Isso levou à sobrecarga dos serviços públicos nas cidades de Roraima, principalmente Pacaraima, na divisa, e Boa Vista, capital de Roraima.

Diante da situação, o governo brasileiro editou o Decreto nº 9.285, de 15 de fevereiro de 2018, que reconheceu a situação de vulnerabilidade causada pelo fluxo migratório e o Decreto nº 9.286, de 15 de fevereiro de 2018, que definiu a composição, competências e normas para o acolhimento de migrantes e serviu de base para o início da Operação Acolhida, um esforço coordenado para lidar com a crise migratória. Foi então instituída uma Comissão Federal de Atendimento Emergencial, presidida pela Casa Civil da Presidência da República, composta por mais 11 Ministérios, sendo o Ministério da Defesa um dos membros.

A FAB faz parte do Ministério da Defesa e teve papel fundamental na mobilização inicial para fornecimento de aeronaves cargueiras para transporte de materiais para apoiar a montagem da infraestrutura inicial em locais-chave no Estado de Roraima. Estruturas de apoio (abrigo, depósito) foram montadas para refugiados em Pacaraima e Boa Vista, que possui uma base aérea. A base aérea permitiu o transporte de materiais por via aérea e possibilitou um atendimento mais rápido.

No presente estudo o desastre foi causado pela instabilidade política e pela crise econômica na Venezuela. Assim, pode ser caracterizado como um desastre de início lento (VAN WASSENHOVE, 2006), pois a crise política vem se desenvolvendo desde 2015.

Neste estudo, com ênfase na etapa de resposta inicial da operação, estabeleceu-se um período de 30 dias para a realização de todos os deslocamentos aéreos. Consequentemente, a

designação de recursos foi adaptada a esse cronograma. Por exemplo, se uma aeronave fosse capaz de realizar um voo diariamente, assumiu-se que ela poderia completar até 30 deslocamentos nesse intervalo de tempo. Esta abordagem permitiu uma estimativa realista da capacidade operacional das aeronaves ao longo do período determinado.

Foi considerado um esforço máximo de 12 horas de voo para a realização de viagens de ida e volta adicionadas por dia, a fim de evitar a fadiga da tripulação. Portanto, para fins de cálculo, o número total de aeronaves C-105, C-98, C-97 e C-95 envolvidos foi dividido por dois, pois seriam necessários dois dias para completar a missão.

A carga total transportada nesse período foi de 138 toneladas.

Na tabela 4 é possível ver as aeronaves de transporte de carga da FAB que foram utilizadas no modelo, com os dados, inclusive tempo de voo do Galeão para Boa Vista.

Tabela 4: Aeronaves de transporte de carga FAB consideradas no modelo com tempo de viagem para BV

	Aeronave	Envergadura(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Velocidade Máxima (Km/h)	Peso Suportado Normalidade (ton)	Tempo viagem GL-BV
	KC-767	47.6	48.5	5.41	913	28	4
	KC-390	35.05	35.2	11.84	988	15	7
	C-130 (Hercules)	40.41	29.81	11.68	621	14	10
	C-105 (Amazonas)	25.81	24.45	8.66	474	5	11,5
	C-99	20.04	29.87	6.76	828	1.2	4,5
	C-98 (Caravan)	15.32	14.23	4.73	454	0.55	11,5
	C-97 (Brasilia)	19.78	20	6.35	583	0.7	7
	C-95 (Bandeirante)	15.08	11.46	4.32	340	0.8	11

Fonte: Elaborada pelo autor

Após a realização do processo de otimização, foi possível identificar que a aeronave C-767 foi a que apresentou melhor desempenho com a missão de apoio humanitário, dada sua capacidade de carga e seu CLHV. Evidenciou-se também que o modelo apresentou economia significativa em relação à linha de base, considerando que o custo foi de 53% do valor demandado na operação, conforme apresentado na Tabela 5:

Tabela 5: Número de voos por aeronave- Realizado vs Modelo de otimização

Aeronave	Número de Voos por Aeronave-Realizado	Número de voos por Aeronave-Modelo
C-767	2	5
C-130 (Hercules)	3	0
C-105 (Amazonas)	4	0
C-99	0	0
C-98 (Caravan)	1	0
C-97 (Brasília)	0	0
C-95 (Bandeirante)	0	0
Custo Total	100%	53.11%
Média de Ocupação	100%	99%

Fonte: Elaborada pelo autor

No início de um desastre, há uma enorme incerteza sobre o quais itens serão necessários, em que quantidade e ainda quem precisará de apoio— particularmente quando há um grande impacto nos sistemas de transporte e comunicação (HOLGUÍN-VERAS *et al.*, 2012).

Portanto, além da otimização realizada, foram propostos alguns cenários de redução de tempo e aumento de carga com modificação do tempo total de atendimento (análise de sensibilidade), pois conforme pesquisa de literatura relacionada a designação multicritério de aeronaves eu uma OH, ficou ressaltada a importância do critério custo, obtido através da função objetivo original, e o segundo critério mais comum na literatura foi do tempo. Pode ser ressaltada ainda, a imprevisibilidade das necessidades em uma OH, e com o intuito de verificação da robustez das respostas obtidas com os dados iniciais.

A análise de sensibilidade permitiu testar a resiliência e adaptabilidade do sistema a diferentes condições operacionais, garantindo que as soluções propostas sejam eficazes mesmo diante de variações significativas nos parâmetros de carga e tempo. A utilização desses parâmetros é essencial para assegurar que o sistema possa responder de maneira eficiente e eficaz às demandas dinâmicas e desafiadoras típicas de uma OH.

A Tabela 6 contém informações com o atendimento de todos os suprimentos em 4 dias e em 3 dias, pois assim não haveria folga de voo pelo C-767. Ficou evidente que mesmo atendendo toda a demanda em 3 dias, seria mais vantajoso adotar a solução abaixo, pois o valor total da operação seria 94,81% do orçamento executado.

Tabela 6: Cenário 1: tempo de operação reduzido

Aeronave	Número de Voos por Aeronave-Realizado	Número de voos por Aeronave-Modelo Tempo Total 4 dias	Número de voos por Aeronave-Modelo Tempo Total 3 dias
C-767	2	4	3
C-130 (Hercules)	3	1	3
C-105 (Amazonas)	4	0	0
C-99	0	0	0
C-98 (Caravan)	1	0	0
C-97 (Brasilia)	0	0	0
C-95 (Bandeirante)	0	0	0
Custo Total	100%	73.96%	94.81%
Média de Ocupação	100%	99%	100.00%

Fonte: Elaborada pelo autor

Outro cenário observado foi o de aumento de carga a ser transportada, para o caso em que a demanda fosse duplicada ou triplicada. Foi observado que no tempo total de serviço (30 dias) haveria um excedente de voos do C-767. Portanto, o tempo total de atendimento foi modificado para 10 dias.

Neste caso, apesar de haver disponibilidade para o transporte de suprimentos, o custo foi superior ao da linha de base, principalmente no cenário em que a carga foi triplicada, pois havia a necessidade da aeronave C-130, conforme pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7: Cenário 2: aumento de carga e tempo de operação de 10 dias

Aeronave	Número de Voos por Aeronave-Realizado	Número de voos por Aeronave-Modelo Dobro do peso/ tempo total 10 dias	Número de voos por Aeronave-Modelo triplo do peso/ tempo total 10 dias
C-767	2	10	10
C-130 (Hercules)	3	0	10
C-105 (Amazonas)	4	0	0
C-99	0	0	0
C-98 (Caravan)	1	0	0
C-97 (Brasilia)	0	0	0
C-95 (Bandeirante)	0	0	0
Custo Total	100%	106.23%	263.62%
Média de Ocupação	100%	99%	100.00%

Fonte: Elaborada pelo autor

A escolha da Operação Acolhida como caso de estudo foi estratégica, dada a sua escala e relevância, bem como a intensa atividade aérea envolvida. A complexidade do cenário foi ainda mais acentuada pelo contexto de instabilidade política e crise econômica na Venezuela, que fez com que o Brasil se tornasse um dos principais destinos para refugiados venezuelanos.

O estudo evidenciou que, apesar das limitações de dados, como a falta de informações sobre a quantidade total de carga transportada, foi possível realizar uma estimativa realista da capacidade operacional das aeronaves e identificar a aeronave C-767 como a mais eficiente para a missão. As análises de sensibilidade, juntamente com os cenários propostos, proporcionaram noções valiosas sobre a gestão e planejamento de operações humanitárias em situações de crise e foram fundamentais para o desenvolvimento do SSD.

5. O SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO

A transição do modelo antigo, que utilizava o Microsoft Excel Solver, para o SSD desenvolvido com *front-end* em *Flask*, marcou uma etapa significativa no projeto. Esta mudança representou uma evolução do modelo de designação de aeronaves, tanto em termos de capacidade computacional quanto de interface de usuário.

Inicialmente, o modelo baseado no *Microsoft Excel Solver* provou ser uma ferramenta útil para a otimização de problemas de designação, oferecendo uma solução viável para análises iniciais. No entanto, com o aumento da complexidade das operações e a necessidade de uma interação mais dinâmica e intuitiva com os dados, surgiu a demanda por um sistema mais avançado e adaptável.

O COMAE é o Grande Comando responsável pela coordenação e controle das operações aeroespaciais nacionais (BRASIL, 2022), e tem seu organograma conforme a Figura 6. Estabelecido com o intuito de assegurar a soberania do espaço aéreo brasileiro, o COMAE coordena atividades que abrangem desde vigilância até defesa aeroespacial. Uma de suas funções primordiais é coordenar os processos relacionados ao planejamento e condução de operações de emprego do poder aeroespacial.

O Centro Conjunto de Operações Aéreas (CCOA) do COMAE exerce um papel crucial na gestão e alocação de recursos aéreos e terrestres nas missões da FAB. Este centro é a espinha dorsal para atender às necessidades operacionais tanto dos Órgãos de Direção Setorial Aeroespacial (ODS) quanto do COMAER. O CCOA destaca-se pela sua capacidade de propor soluções operacionais que são não apenas eficientes, mas também economicamente viáveis, assegurando uma utilização otimizada dos recursos disponíveis.

As responsabilidades do CCOA abrangem uma ampla gama de operações, incluindo missões críticas de defesa, vigilância e apoio humanitário. Em situações de emergência, como missões humanitárias, o centro demonstra sua capacidade de planejamento estratégico e designação rápida de aeronaves, equilibrando prontidão operacional e eficiência de recursos. O CCOA realiza avaliações detalhadas das demandas operacionais, garantindo que as decisões tomadas sejam alinhadas aos princípios de eficácia e economia. Isso inclui a análise da disponibilidade de aeronaves e recursos terrestres, coordenação logística para mobilização rápida e programação de missões para maximizar impacto operacional com custos minimizados.

5.1. Descrição do Sistema

A migração para o SSD iniciou-se com a transferência das lógicas de otimização e análise de dados para a linguagem Python (Figura 21), conhecida por sua versatilidade e forte apoio com bibliotecas de análise de dados como Pandas e de otimização como Gurobi. Este passo permitiu a

manipulação de conjuntos maiores de dados e a implementação de algoritmos mais complexos de forma mais eficiente e geração do gráfico de soluções de Pareto (Figura 22).

Figura 21: Implementação do Código em Python

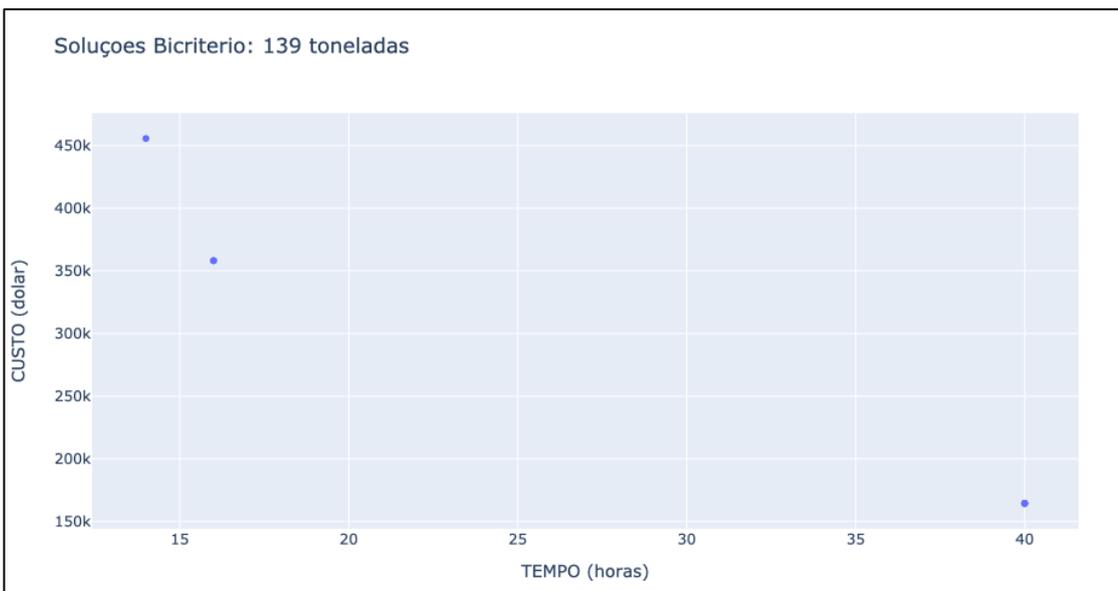
```
In [5]: custo_total = 0
for aeronave in aeronaves:
    for j in range(limites_dia[aeronave]):
        if round(Xij[aeronave,j].X) == 1:
            custo_total += custos[aeronave]
            print(aeronave,custos[aeronave],"Viagem número:", j+1)#, T.X)

print("Tempo total:", T.X)
print("Custo total:", custo_total)

Aeronave_1 32891.89164 Viagem número: 1
Aeronave_1 32891.89164 Viagem número: 2
Aeronave_1 32891.89164 Viagem número: 3
Aeronave_1 32891.89164 Viagem número: 4
Aeronave_1 32891.89164 Viagem número: 5
Tempo total: 40.0
Custo total: 164459.4582
```

Fonte: O Autor

Figura 22: Geração de Gráfico de Soluções em Python



Fonte: O Autor

Simultaneamente, o desenvolvimento do *front-end* em *Flask* proporcionou uma plataforma mais acessível e interativa para os usuários. *Flask*, sendo um *microframework web*, ofereceu a flexibilidade necessária para criar uma interface de usuário personalizada, que permitiu a visualização de dados, a entrada de parâmetros e a apresentação de resultados de otimização de maneira mais clara e intuitiva. Na Figura 23, é possível verificar a tela inicial do SSD, demonstrando a efetividade dessa transição na melhoria da interação do usuário com o sistema.

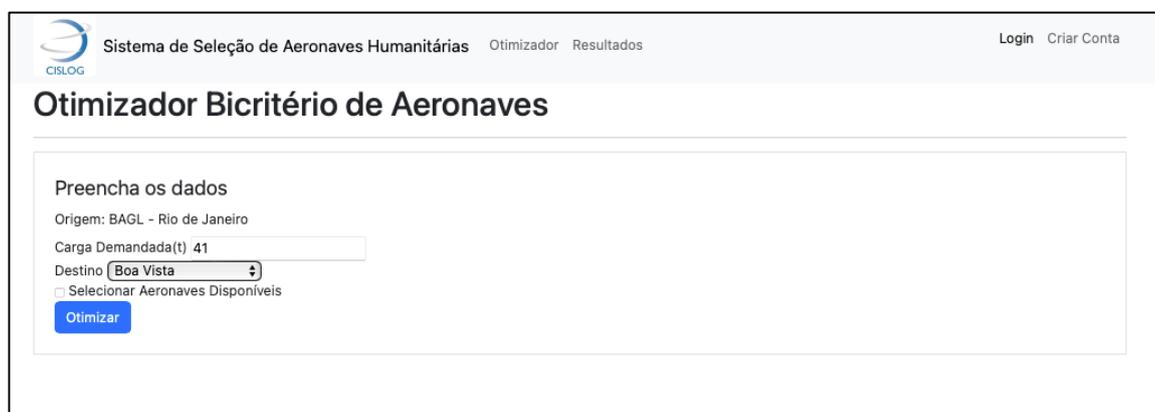
Figura 23: Tela Inicial do SSD



Fonte: O autor

Ao acessar a aba do otimizador no sistema (Figura 24 e Figura 25), o usuário encontra automaticamente pré-definida a origem da operação, que é a Base Aérea do Galeão (BAGL), situada no Rio de Janeiro. Para prosseguir com a otimização, é necessário inserir informações adicionais, como o peso da carga a ser transportada. Além disso, deve-se selecionar o destino dentre as opções disponíveis cadastradas no sistema. Também é possível escolher as aeronaves que serão consideradas no processo de otimização, caso seja marcada a opção de selecionar aeronaves disponíveis. Se essa opção não for selecionada, toda as aeronaves serão consideradas para a gerar a resposta. Este conjunto de ações prepara o sistema para realizar a análise e oferecer o conjunto de soluções mais adequadas para a OH.

Figura 24: Tela Otimizador do SSD



Fonte: O autor

Figura 25:Tela Otimizador do SSD- Seleção de Peso e Destino

Sistema de Seleção de Aeronaves Humanitárias Otimizador Resultados Login Criar Conta

Otimizador Bicritério de Aeronaves

Preencha os dados

Origem: BAGL - Rio de Janeiro

Carga Demandada(t) 41

Destino:

Selecionar Aeronaves Disponíveis

Aeronaves Disponíveis:

<input type="checkbox"/> C-767_001	<input type="checkbox"/> KC-390_001	<input type="checkbox"/> C-130_001	<input type="checkbox"/> C-130_002
<input type="checkbox"/> C-130_003	<input type="checkbox"/> C-130_004	<input type="checkbox"/> C-130_005	<input type="checkbox"/> C-130_006
<input type="checkbox"/> C-130_007	<input type="checkbox"/> C-105_001	<input type="checkbox"/> C-105_002	<input type="checkbox"/> C-105_003
<input type="checkbox"/> C-105_004	<input type="checkbox"/> C-105_005	<input type="checkbox"/> C-105_006	<input type="checkbox"/> C-105_007
<input type="checkbox"/> C-105_008	<input type="checkbox"/> C-105_009	<input type="checkbox"/> C-105_010	<input type="checkbox"/> C-105_011
<input type="checkbox"/> C-105_012	<input type="checkbox"/> C-99_001	<input type="checkbox"/> C-99_002	<input type="checkbox"/> C-99_003
<input type="checkbox"/> C-99_004	<input type="checkbox"/> C-99_005	<input type="checkbox"/> C-99_006	<input type="checkbox"/> C-99_007
<input type="checkbox"/> C-99_008	<input type="checkbox"/> C-99_009	<input type="checkbox"/> C-99_010	<input type="checkbox"/> C-99_011
<input type="checkbox"/> C-99_012			

Fonte: O autor

Ao acionar o botão "Otimizar" o sistema exibe o gráfico ilustrativo das soluções de Pareto (Figura 26), uma representação visual fundamental para entender o equilíbrio entre os critérios de custo e tempo no modelo de designação de aeronaves. Este gráfico não apenas destaca as soluções ótimas alcançadas, mas também fornece uma perspectiva clara sobre o *trade-off* inerente entre os dois objetivos principais do modelo.

Além disso, o sistema proporciona a funcionalidade de fazer o *download* tanto das soluções detalhadas quanto do próprio gráfico. Esta opção de download permite aos usuários uma análise mais aprofundada e a capacidade de compartilhar as informações obtidas, facilitando a discussão e a tomada de decisões com base nos dados gerados.

Figura 26: Resultado da Otimização



Fonte: O autor

Além disso, são apresentadas informações detalhadas sobre as aeronaves alocadas conforme a solução selecionada. Cada ponto no gráfico de Pareto corresponde a uma configuração específica de designação, onde as aeronaves são distribuídas de maneira a otimizar conjuntamente os aspectos de custo e tempo. Essa visualização permite uma análise profunda das decisões de designação e facilita a identificação das melhores estratégias para atender aos objetivos operacionais da missão.

A integração do modelo permite ainda mais flexibilidade e controle ao tomador de decisão através da possibilidade de realizar uma análise de sensibilidade (Figura 27). Essa funcionalidade é particularmente útil, pois permite alternar entre os critérios de custo e tempo, ajustando-os conforme as necessidades específicas da operação. Após selecionar um dos objetivos, o usuário tem a opção de inserir um valor máximo de orçamento ou tempo. O sistema recalcula as soluções ótimas, oferecendo ao usuário uma visão mais ampla das opções disponíveis, e também oferece a possibilidade de realização do *download* das novas soluções geradas.

Figura 27: Resultado da Análise de Sensibilidade



Fonte: O autor

Esta capacidade de personalizar os parâmetros da análise de sensibilidade é uma ferramenta poderosa, pois dá ao tomador de decisão a habilidade de explorar diferentes cenários e entender melhor o impacto de cada variável no resultado final. Por exemplo, ao definir um limite máximo para o custo, o sistema apresentará as melhores soluções dentro desse orçamento, permitindo uma avaliação criteriosa da eficiência temporal em diferentes faixas de custo.

Essa funcionalidade enriquece o processo de decisão, pois não se limita a fornecer soluções estáticas, mas possibilita uma análise dinâmica e adaptativa das variáveis envolvidas. Com isso, os tomadores de decisão podem não apenas escolher a estratégia mais eficaz para a operação em questão, mas também garantir que as decisões tomadas estejam alinhadas com as restrições orçamentárias e os prazos operacionais.

A combinação do poder computacional do Python no back-end com a interatividade do Flask no front-end transformou o SSD em uma ferramenta mais robusta, acessível e amigável. Esta transição não só melhorou a eficiência e a eficácia do processo de tomada de decisão, mas também aumentou a adaptabilidade do sistema para atender a diferentes cenários operacionais em operações humanitárias.

Na Figura 28 é possível observar um exemplo de otimização realizada no SSD com o destino Foz do Iguaçu.

Figura 28: Otimização Cenário Foz do Iguaçu

Sistema de Seleção de Aeronaves Humanitárias Otimizador Resultados Login Criar Conta

Otimizador Bicritério de Aeronaves

Preencha os dados

Origem: BAGL - Rio de Janeiro

Carga Demandada(t)

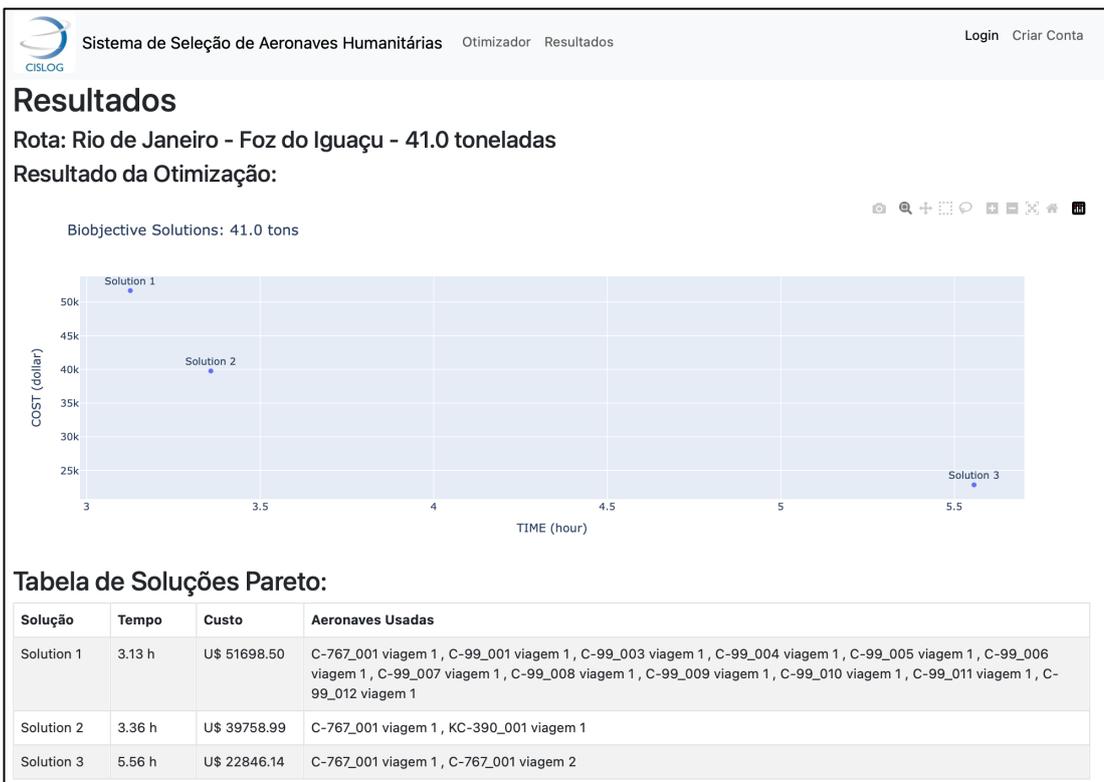
Destino

Selecionar Aeronaves Disponíveis

Fonte: O autor

Ao acionar o botão "Otimizar" o sistema exibe o gráfico ilustrativo das soluções de Pareto e a Tabela de Soluções de Pareto com informações sobre custo, tempo e aeronaves designadas (Figura 29) para a cidade e carga selecionada.

Figura 29: Resultado Cenário Foz do Iguaçu



Fonte: O autor

Na sequência foi selecionado o critério custo e inserido o valor limitante (Figura 30), e a seleção do botão "Analisar".

Figura 30: Seleção dos Parâmetros de Análise de Sensibilidade- Foz do Iguaçu



Fonte: O autor

E por fim foi gerado novo gráfico e tabela com o resultado da análise de sensibilidade, de acordo com critério e valor máximo inserido (Figura 31).

Figure 31: Resultado da Análise de Sensibilidade Foz do Iguaçu



Fonte: O autor

5.2. Conclusão do Capítulo

O presente capítulo enfatizou a transição do modelo inicial baseado no Microsoft Excel Solver para um SSD, utilizando *Flask* no *front-end* e *Python* no *back-end*. Essa mudança representou uma evolução tanto na capacidade computacional, quanto na interatividade do usuário, permitindo uma manipulação mais eficiente de conjuntos de dados maiores e a implementação de algoritmos mais complexos.

A interface acessível e amigável desenvolvida em *Flask* facilitou a visualização de dados, entrada de parâmetros e apresentação dos resultados de otimização de forma clara e intuitiva, o que facilita a utilização do sistema pelo usuário.

Além disso, a integração de uma análise de sensibilidade no SSD oferece flexibilidade adicional e controle detalhado ao tomador de decisão, permitindo selecionar as aeronaves disponíveis para a designação, além de ajustar os critérios de custo e tempo conforme as

necessidades específicas da operação. Essa capacidade é uma ferramenta, que proporciona a possibilidade de explorar diferentes cenários e compreender o impacto de cada variável no resultado final.

Cabe ressaltar que, conforme citado no capítulo 2, o COMAE é o Grande Comando da FAB responsável pela coordenação e controle das operações aeroespaciais nacionais. Realizar o apoio humanitário está entre as mais diversas missões das quais o COMAE é responsável. Sendo assim, o SSD poderá ser utilizado no futuro como uma ferramenta que proporcione a designação de aeronaves, visto que hoje não há um sistema específico para realizar a escolha de forma informatizada em uma OH, pois como observado no capítulo 4, o modelo demonstrou bons níveis de eficiência quando aplicado na Operação Acolhida.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Conforme o mundo se depara com uma série de crises humanitárias, a importância de uma logística eficiente em operações humanitárias se torna cada vez mais evidente. A Agência da ONU para Refugiados (UNCHR) reporta um número alarmante de mais de 110 milhões de deslocamentos forçados desde 1951 até meados de 2023, ressaltando a magnitude global desses desafios.

As crises humanitárias, descritas pela Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho (FICV), resultam em interrupções graves na vida comunitária, exigindo respostas que superam a capacidade dos recursos locais. Tais crises, sejam desastres naturais ou antropogênicos como conflitos armados e crises migratórias, têm impactos devastadores, como demonstram os dados sobre perdas humanas e financeiras nos Estados Unidos e no Brasil.

Nesse diapasão, o Brasil, um país de dimensões continentais, tem sido cenário de vários desastres como os ocorridos em Angra dos Reis, na Região Serrana do Rio de Janeiro, e os rompimentos das barragens de Mariana e Brumadinho, bem como a Operação Acolhida para migrantes venezuelanos. Diante desse cenário, fica clara a necessidade da preparação e desenvolvimento de planos e sistemas para responder de forma eficiente a um desastre, conforme defendido por Van Wassenhove (2006).

Com esse enfoque, a participação de diversas partes interessadas, especialmente o setor público e as forças militares é fundamental. A atuação da FAB em operações humanitárias, em particular, reflete um compromisso significativo com a pronta resposta a esses desafios, apesar dos altos custos operacionais e de manutenção associados ao poder aéreo.

Frente aos desafios existentes em uma OH, este estudo dedicou-se primeiramente a identificar os procedimentos necessários para a realização de um atendimento humanitário na FAB. Foram evidenciados os fluxogramas e os Órgãos responsáveis pela coordenação da designação de aeronaves em OH.

Em seguida foi realizada revisão da literatura sobre modelos de designação de recursos multicritério e adotou-se uma modificação do problema generalizado de atribuição de recursos (WINSTON, 2004). O modelo utilizou como base uma única organização (FAB) que fornece tipos de aeronaves com diferentes capacidades para um desastre específico de forma eficiente e eficaz, conforme Apte & Yoko (2018).

O modelo mostrou-se eficiente, com uma solução de custo de 53% em comparação ao orçamento executado na operação real. Apesar disso, o modelo ainda era monocritério, e foi

necessário realizar análises de sensibilidade de forma secundária para que fossem encontrados os valores com tempos de resposta diferente.

Ainda assim, o modelo permitiu concluir que toda a operação seria possível em 3 dias com 94% do orçamento original. E em uma nova análise realizada foi identificado que caso a carga fosse dobrada e o total de dias fosse limitado a 10, o valor obtido pelo modelo seria 106% do valor da operação real. Já para o cenário em que a carga fosse triplicada o valor final seria de 263% com um mix diferente de aeronaves.

A eficiência na redução de custos e tempo é um aspecto crucial em operações humanitárias, como demonstrado pelos resultados obtidos com o modelo inicial desenvolvido neste estudo. A conclusão de que a operação poderia ser realizada em apenas 3 dias, utilizando 94% do orçamento original, é um indicativo significativo da eficácia do modelo em otimizar recursos, tanto financeiros quanto temporais. Esta eficiência é especialmente relevante em contextos humanitários, onde a rapidez na resposta pode ser decisiva para salvar vidas e a utilização prudente dos recursos financeiros é fundamental, dada a natureza muitas vezes limitada do financiamento disponível.

Além disso, a análise de cenários onde a carga foi dobrada ou triplicada revela a adaptabilidade do modelo a diferentes situações operacionais. Embora o custo aumente para 106% e 263% respectivamente nestes cenários, a capacidade de ajustar rapidamente a estratégia de designação de aeronaves para lidar com um aumento na demanda de carga é uma vantagem operacional significativa. Esses achados demonstram a importância de modelos de otimização como ferramentas valiosas na gestão de operações humanitárias, possibilitando respostas mais rápidas e economicamente viáveis em situações de crise.

O desenvolvimento subsequente focou na transferência das lógicas de otimização e análise de dados do modelo inicial baseado no Microsoft Excel Solver para a linguagem Python, uma escolha motivada pela versatilidade e pelo suporte extensivo da linguagem a bibliotecas especializadas como *Pandas* para análise de dados e *Gurobi* para otimização. Essa etapa propiciou a implementação de algoritmos mais complexos e a manipulação eficiente de grandes conjuntos de dados. Este avanço permitiu uma abordagem mais refinada e precisa na designação de aeronaves, considerando múltiplos critérios e capacidades, e resultando em um modelo matemático multicritério que não apenas otimiza o custo, mas também o tempo demandado para deslocamento de materiais de socorro humanitário.

Cabe ainda citar que outras modificações foram incorporadas ao modelo de designação de aeronaves. A primeira delas foi a alteração da variável de decisão para um formato binário, que permitiu o tratamento individualizado de cada aeronave, em vez de uma classificação coletiva por tipo. Essa alteração proporcionou uma análise mais detalhada e flexível na designação de recursos.

Além disso, a introdução de um novo objetivo, representando o somatório dos tempos de viagem das aeronaves alocadas (T), e a implementação de uma função biobjetivo, focada na

minimização simultânea de custo e tempo, representam avanços notáveis. A normalização dessas métricas, utilizando a técnica de min-max, facilitou a comparação direta e a agregação dos critérios. A integração do parâmetro alfa (α) no modelo biobjetivo, permitindo a ponderação diferenciada dos objetivos de custo e tempo, conferiu uma flexibilidade adicional, possibilitando a exploração do trade-off entre esses objetivos.

Por fim foi desenvolvido SSD estruturado em torno de quatro componentes principais: a interface do usuário, o banco de dados, os modelos e a organização desses componentes, todos fundamentais para a eficácia do sistema, conforme Power (POWER, 2002).

O SSD foi desenvolvido com *front-end* em *Flask* e *back-end* em linguagem *Python* e otimizador *Gurobi*. O sistema tem como finalidade a designação de aeronaves em operações humanitárias, após receber as informações de peso da carga e a seleção de 4 destinos estratégicos pré inseridos no sistema, além de permitir selecionar as aeronaves disponíveis para operação. As soluções geradas são apresentadas em um gráfico de Pareto, que permite o tomador de decisão observar o equilíbrio entre os critérios de custo e tempo no modelo de designação de aeronaves, e também fornece uma perspectiva clara sobre o *trade-off* inerente entre os dois objetivos principais do modelo.

Adicionalmente, a integração do modelo com a análise de sensibilidade oferece flexibilidade e controle ampliado para o tomador de decisão. Dessa forma, é possível escolher entre os critérios de custo e tempo, ajustando-os de acordo com as necessidades específicas da operação e definir limites máximos para o orçamento ou tempo. Essa funcionalidade proporciona ao usuário uma compreensão mais abrangente das opções disponíveis. Essa análise dinâmica e adaptativa das variáveis envolvidas enriquece o processo de decisão, permitindo aos tomadores de decisão escolher a estratégia mais eficiente, respeitando as restrições orçamentárias e os prazos operacionais.

Sendo assim, os objetivos específicos do trabalho foram atendidos, que são: identificar os procedimentos necessários para a realização de um atendimento humanitário na FAB, desenvolver modelo matemático multicritério para designação eficiente de aeronaves da FAB, levando em conta as capacidades de cada ativo, com a comparação por nível de serviço, em um atendimento humanitário e desenvolver Sistema de Apoio a Decisão simples e interativo, de modo a viabilizar a utilização dos usuários.

Com isso o objetivo geral de desenvolver SSD que otimize a designação de aeronaves da FAB para transporte de carga em longa distância em operações humanitária, com foco na maximização da eficiência temporal e minimização dos custos operacionais, garantindo assim uma resposta rápida e econômica no transporte de cargas em situações de emergência, também foi atendido.

6.1. Limitações do Trabalho

Apesar dos avanços e das conclusões positivas, é importante destacar algumas limitações do modelo desenvolvido e SSD implementado.

Primeiramente, o modelo considerou apenas uma única base de origem para as operações, o que pode não refletir a complexidade real de operações humanitárias que frequentemente envolvem múltiplas bases de partida.

Além disso, o tempo necessário para atividades em solo, como abastecimento, carga e descarga, não foi considerado, impactando potencialmente o tempo total da operação e a eficiência logística. A consideração desses tempos poderia proporcionar uma visão mais realista e precisa das operações, permitindo melhor planejamento e otimização dos recursos.

Outra limitação é a capacidade limitada de destinos, com apenas quatro destinos estratégicos pré-selecionados no sistema, reduzindo a flexibilidade em operações reais que requerem ajustes dinâmicos de destinos.

Além disso, o modelo considerou apenas o peso da carga, sem incluir as dimensões volumétricas, o que pode resultar em subutilização ou superutilização do espaço disponível nas aeronaves. Também não foi considerada a simultaneidade no transporte de carga e pessoas, uma realidade comum em operações humanitárias, onde é crucial transportar não apenas suprimentos, mas também equipes de socorro e pessoal especializado.

Por fim, uma limitação adicional dessa pesquisa diz respeito à incerteza da previsão de demanda, que é um fator crucial em OH. A demanda por recursos e transporte pode não ser conhecida previamente, ou pode ser um caso contínuo e variável ao longo do tempo, como ocorreu com a Operação Taquari II, quando as cheias do Rio Grande do Sul se estenderam por várias semanas. A falta de uma previsão precisa da demanda pode afetar significativamente a eficácia da designação de aeronaves e a resposta logística.

Reconhecer essas limitações é essencial para direcionar futuros esforços de pesquisa e desenvolvimento, buscando superar os desafios identificados e aprimorar ainda mais a eficácia do SSD em operações humanitárias.

6.2. Sugestões para Pesquisas Futuras

Futuras pesquisas podem se concentrar em analisar e otimizar o tempo em solo dedicado a atividades críticas como abastecimento, carga e descarga em um novo modelo multicritério. Isso acarretaria o desenvolvimento de modelos que minimizem o tempo de solo para aumentar a eficiência operacional, considerando diferentes protocolos e procedimentos em vários aeroportos.

Outra área de estudo promissora é a avaliação da utilização de locais alternativos de origem para missões. Isso pode envolver a análise de como diferentes bases de origem afetam a eficiência logística geral, incluindo custos, tempo de resposta e disponibilidade de recursos.

Adicionalmente, inserir campo em que o usuário preenche as dimensões de volume da carga a ser transportada, tendo em vista as restrições das aeronaves, poderia melhorar a flexibilidade do sistema. Isso implica desenvolver um modelo que considere não apenas o peso, mas também o volume das cargas, permitindo uma designação mais eficiente do espaço de carga disponível nas aeronaves.

Expandir o modelo para incluir uma variedade maior de destinos nacionais e até mesmo internacionais pode melhorar a representatividade e aplicabilidade do sistema. Isso permitiria uma análise mais abrangente das rotas de voo internas e da distribuição de recursos em diferentes regiões do país e do mundo.

Utilizando as sugestões acima, recomenda-se a realização de simulações e análises de cenários para testar a viabilidade e eficácia das alterações propostas. Isso incluiria a criação de cenários hipotéticos baseados em dados reais para avaliar como diferentes variáveis impactam as operações de voo.

A implementação dessas sugestões em pesquisas futuras pode proporcionar avanços significativos no campo da logística aérea, especialmente em operações humanitárias. Esses estudos podem levar a melhorias na eficiência, redução de custos e tempos de resposta mais rápidos, contribuindo para uma resposta mais eficiente.

REFERÊNCIAS

- AIDONIS, D.; ACHILLAS, C.; FOLINAS, D. Multicriteria Analysis Approach for Humanitarian. p. 154–159, 2015. Disponível em: <https://logic.sf.bg.ac.rs/wp-content/uploads/LOGIC_2015_ID_26.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2022.
- ALTAY, N. Capability-based resource allocation for effective disaster response. **IMA Journal of Management Mathematics**, v. 24, n. 2, p. 253–266, 1 abr. 2013.
- APTE, A.; YOHO, K. Resource selection in support of humanitarian operations: a case of the United States Navy. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, v. 8, n. 2, p. 184–198, 28 ago. 2018.
- BARRETT, C. B.; CONSTAS, M. A. Toward a theory of resilience for international development applications. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 40, p. 14625–14630, 7 out. 2014.
- BRASIL. **Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA), nº 400-2, “Custo Logístico da Hora de Voo”** Boletim do Comando da Aeronáutica, 2010. Disponível em: <<https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=2287>>.
- BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. 2012a.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Livro Branco da Defesa Nacional. LBDN. Brasília. 2012b.
- BRASIL. Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica defesa civil. 2018.
- BRASIL. **Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica DCA 1-1 Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira Volume I**. [s.l.: s.n.].
- BRASIL. **Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica RICA 20-39 Regimento Interno do Comando de Operações Aeroespaciais**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://adoc.fab.mil.br/adoc>>.
- CAO, C.; LI, C.; YANG, Q.; ZHANG, F. Multi-Objective Optimization Model of Emergency Organization Allocation for Sustainable Disaster Supply Chain. **Sustainability**, v. 9, n. 11, p. 2103, 17 nov. 2017. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/9/11/2103>>.
- EHRGHOTT, M. **Multicriteria Optimization**. [s.l.] Springer, 2005.
- ERTEM, M. A.; BUYURGAN, N.; ROSSETTI, M. D. Multiple-buyer procurement auctions framework for humanitarian supply chain management. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 40, n. 3, p. 202–227, 20 abr. 2010. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09600031011035092/full/html>>.
- FAB. **FAB reforça apoio às vítimas das enchentes na Bahia**.
- FICV. What is a disaster? **Choice Reviews Online**, v. 47, n. 11, p. 47-6330-47–6330, 1 jul. 2022. Disponível em: <<https://www.ifrc.org/what-disaster>>.
- FLORES, I.; ORTUÑO, M. T.; TIRADO, G.; VITORIANO, B. Supported Evacuation for Disaster Relief through Lexicographic Goal Programming. **Mathematics**, v. 8, n. 4, p. 648, 22 abr. 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2227-7390/8/4/648>>.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Sem estrutura, Boa Vista já acolhe mais de 40 mil venezuelanos. 2018. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mundo/2018/01/195408>>.
- FONTAINHA, T. C.; LEIRAS, A.; BANDEIRA, R. A. de M.; SCAVARDA, L. F. Public-Private-People Relationship Stakeholder Model for disaster and humanitarian operations. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 22, p. 371–386, jun. 2017.
- GAVIAO, L. O.; SANTANNA, A. P.; LIMA, G. B. A.; DE ALMADA GARCIA, P. A.; KOSTIN, S.; ASRILHANT, B. Selecting a Cargo Aircraft for Humanitarian and Disaster Relief Operations by Multicriteria Decision Aid Methods. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 67, n. 3, p. 631–640, ago. 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8937475/>>. Acesso em: 23 jul. 2022.
- GHA. **Global Humanitarian Assistant Report**. Disponível em: <<https://devinit.org/resources/global-humanitarian-assistance-report-2023/key-trends-humanitarian-need-funding-2022/#section-1-1-3>>. Acesso em: 17 dez. 2023.
- GOUJON, B. How to Support the Decision Making in Crisis Context ? p. 39–44, 2016.

GUTJAHR, W. J.; NOLZ, P. C. Multicriteria optimization in humanitarian aid. **European Journal of Operational Research**, v. 252, n. 2, p. 351–366, jul. 2016. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221715011741>>.

HOLGUÍN-VERAS, J.; JALLER, M.; VAN WASSENHOVE, L. N.; PÉREZ, N.; WACHTENDORF, T. On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. **Journal of Operations Management**, v. 30, n. 7–8, p. 494–506, 31 nov. 2012.

HU, X.-B.; WANG, M.; YE, T.; SHI, P. A New Method for Resource Allocation Optimization in Disaster Reduction and Risk Governance. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 7, n. 2, p. 138–150, 24 jun. 2016. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s13753-016-0089-2>>.

HUANG, K.; JIANG, Y.; YUAN, Y.; ZHAO, L. Modeling multiple humanitarian objectives in emergency response to large-scale disasters. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 75, p. 1–17, mar. 2015. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136655451400204X>>.

IBGE. **Cidades e Estados- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rr.html>>.

IBGE. **Intituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/foz-do-iguacu/panorama>>. Acesso em: 26 dez. 2023.

KEEN, P. G. W. Decision Support Systems:A Research Perspective. **Cambridge, Mass. : Center for Information Systems Research, Alfred P. Sloan School of ManagementReport (Alfred P. Sloan School of Management. Center for Information Systems Research) ; no. 54.**, 1980. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1721.1/47172>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

KHORSI, M.; CHAHARSOOGHI, S. K.; BOZORGI-AMIRI, A.; KASHAN, A. H. A Multi-Objective Multi-Period Model for Humanitarian Relief Logistics with Split Delivery and Multiple Uses of Vehicles. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 29, n. 3, p. 360–378, 19 jun. 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/10.1007/s11518-019-5444-6>>.

LAGUNA-SALVADO, L.; LAURAS, M.; OKONGWU, U.; COMES, T. A multicriteria Master Planning DSS for a sustainable humanitarian supply chain. **Annals of Operations Research**, v. 283, n. 1–2, p. 1303–1343, 9 dez. 2019. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10479-018-2882-3>>.

LEIRAS, A.; DE BRITO JR, I.; QUEIROZ PERES, E.; REJANE BERTAZZO, T.; TSUGUNOBU YOSHIDA YOSHIZAKI, H. Literature review of humanitarian logistics research: trends and challenges. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, v. 4, n. 1, p. 95–130, 6 maio 2014. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JHLSCM-04-2012-0008/full/html>>.

LEWIS, P. K.; TACKETT, M. W. P.; MATTSON, C. A. Considering dynamic Pareto frontiers in decision making. **Optimization and Engineering**, v. 15, n. 4, p. 837–854, 8 dez. 2014.

MALEŠIĆ, M. The impact of military engagement in disaster management on civil–military relations. **Current Sociology**, v. 63, n. 7, p. 980–998, 2 nov. 2015.

MANGLA, S. K.; LUTHRA, S. When challenges need an evaluation: for operational excellence and sustainability orientation in humanitarian supply and logistics management. **Production Planning and Control**, v. 33, n. 6–7, p. 539–557, 2022.

MEJIA-ARGUETA, C.; GAYTÁN, J.; CABALLERO, R.; MOLINA, J.; VITORIANO, B. Multicriteria optimization approach to deploy humanitarian logistic operations integrally during floods. **International Transactions in Operational Research**, v. 25, n. 3, p. 1053–1079, maio 2018. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/itor.12508>>.

MESSAC, A.; MATTSON, C. A. Generating Well-Distributed Sets of Pareto Points for Engineering Design Using Physical Programming. **Optimization and Engineering**, v. 3, n. 4, p. 431–450, 2002.

MIETTINEN, K. **Nonlinear Multiobjective Optimization**. [s.l: s.n.]10–15 p.

NCEI. **National Centers for Environmental Information**. Disponível em: <<https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/>>. Acesso em: 29 dez. 2023.

PENG, Y.; YU, L. Multiple criteria decision making in emergency management. **Computers & Operations Research**, v. 42, p. 1–2, fev. 2014. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030505481300244X>>.

POLITIZE. **Crise no Peru: o que está acontecendo?** Disponível em: <<https://www.politize.com.br/crise-no-peru/>>. Acesso em: 27 dez. 2023.

POWER, D. J. **Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers**. [s.l: s.n.]

R4V. **Key Figures**. Disponível em: <<https://www.r4v.info/en/node/247>>.

RIBEIRO, T. P. **Migração Venezuelana em Roraima: uma análise de dinâmica de sistemas para o programa federal de interiorização**. 2021. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

ROCHA, C. A.; BITENCOURT, C. D. A importância da função logística transporte para o desdobramento da Operação Acolhida. **Doutrina Militar Terrestre em Revista**, v. 21, n. 1, p. 28–37, 2020. Disponível em: <<http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/DMT/article/view/3824/3178>>.

RODRÍGUEZ-ESPÍNDOLA, O.; ALBORES, P.; BREWSTER, C. Disaster preparedness in humanitarian logistics: A collaborative approach for resource management in floods. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 3, p. 978–993, fev. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221717300565>>.

SARMA, D.; DAS, A.; DUTTA, P.; BERA, U. K. A Cost Minimization Resource Allocation Model for Disaster Relief Operations With an Information Crowdsourcing-Based MCDM Approach. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 69, n. 5, p. 2454–2474, out. 2022. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9194343>>.

SHULTZ, C.; BARRIOS, A.; KRASNIKOV, A. V.; BECKER, I.; BENNETT, A. M.; EMILE, R.; HOKKINEN, M.; PENNINGTON, J. R.; SANTOS, M.; SIERRA, J. The Global Refugee Crisis: Pathway for a More Humanitarian Solution. **Journal of Macromarketing**, v. 40, n. 1, p. 128–143, 13 mar. 2020. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0276146719896390>>.

SILVA, M. S. da. **A logística da Força Aérea Brasileira em resposta a desastres: O caso da Operação Acolhida**. 2020. 2020. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/51002/51002.PDF>>.

SILVEIRA SANTOS, R. A. THE USE OF AIRPOWER ON HUMANITARIAN OPERATIONS : A CASE STUDY IN BRAZIL. v. 16, p. 490–500, 2019.

SOUZA, L. A. Uma análise do processo decisório , do planejamento e da execução da Operação Acolhida. 2019.

THOMAS, A.; MIZUSHIMA, M. Logistics training: necessity or luxury? **Forced Migration Review**, p. 60–61, 2005. Disponível em: <<http://fritzinstitute.org/PDFs/FMR18/FMR22fritz.pdf%0Awww.wfp.>>.

TIRADO, G.; MARTÍN-CAMPO, F. J.; VITORIANO, B.; ORTUÑO, M. T. A lexicographical dynamic flow model for relief operations. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 7, n. Supplement 1, p. 45, 2014. Disponível em: <<https://www.atlantis-press.com/article/25868556>>.

UNCHR. **Refugees and migrants from Venezuela top 4 million: UNHCR and IOM**. Disponível em: <<https://www.unhcr.org/news/press/2019/6/5cfa2a4a4/>>.

UNCHR. **Refuge Data Finder**. Disponível em: <<https://www.unhcr.org/refugee-statistics/>>. Acesso em: 29 dez. 2023.

VAN WASSENHOVE, L. N. Blackett memorial lecture humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, n. 5, p. 475–489, 2006.

WANG, Y.; SUN, B. A Multiobjective Allocation Model for Emergency Resources That Balance Efficiency and Fairness. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2018, p. 1–8, 14 out. 2018. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/mpe/2018/7943498/>>.

WINSTON, W. L. **Operations Research Applications and Algorithms**. [s.l: s.n.]978–979 p.

WORLDOMETER. **Worldometer**. Disponível em: <<https://www.worldometers.info/world-population/argentina-population/>>. Acesso em: 26 dez. 2023.

ZHOU, L.; WU, X.; XU, Z.; FUJITA, H. Emergency decision making for natural disasters: An overview. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 27, p. 567–576, mar. 2018.