

AERONAVE KC-2 EMPREGADA EM APOIO LOGÍSTICO MILITAR NO COMBATE À COVID-19: UMA ABORDAGEM À LUZ DO TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

KC-2 aircraft used in military logistics support to combat COVID-19: an approach in the light of the Traveling Salesman Problem

Igor Pinheiro de Araújo Costa¹, Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros Teixeira², Sérgio Mithihiro do Nascimento Maêda³, Leandro Carvalho⁴, Victor Rosemberg Reis Mota⁵, Carlos Francisco Simões Gomes⁶, Marcos dos Santos⁷

Resumo: O número elevado de casos de COVID-19 no Brasil e no mundo nos últimos dois anos trouxe grande preocupação à população e ao governo, principalmente nos estados mais afetados pela pandemia. Este trabalho tem como objetivo propor uma estratégia, por meio da aplicação da modelagem matemática do Problema do Caixeiro Viajante (TSP), para a distribuição de medicamentos, respiradores e insumos nos estados brasileiros mais afetados pela pandemia. Para tanto, foi sugerida a utilização da aeronave de asa fixa KC-2, em processo de modernização pela Marinha do Brasil. Para estruturar o problema, foi aplicado o método *Value-Focused Thinking* (VFT), além de ter sido feita consulta a especialistas em saúde pública. O TSP foi aplicado para propor uma rota otimizada para fornecer apoio logístico aos dez estados mais afetados pela pandemia. A metodologia apresentada pode ser replicada para diversos tipos de problemas táticos, operacionais e estratégicos, apresentando relevância para a academia, as forças armadas e a sociedade civil.

Palavras-chave: Problema do Caixeiro Viajante. Value-Focused Thinking. Aeronave KC-2. COVID-19. Pesquisa Operacional Militar.

Abstract: The number of cases of COVID-19 in Brazil and worldwide in the last two years has brought to light great concern to the population and the government, especially in the states most affected by the pandemic. This paper aimed to propose a strategy, through the application of the mathematical modeling of the Travelling Salesman Problem (TSP), for the distribution of medications, respirators, and supplies in the Brazilian states most affected by the pandemic. To this end, it was suggested the use of the KC-2 aircraft, in the modernizing process by the Brazilian Navy. To structure the problem, the Value-Focused Thinking (VFT) method was applied, in addition to consulting public health specialists. The TSP was applied to propose an optimized route to provide logistical support to the 10 states most affected by the pandemic. The methodology presented can be replicated for various types of tactical, operational, and strategic problems, presenting relevance to academia, military, and society.

Keywords: Travelling Salesman Problem. Value Focused Thinking. KC-2 aircraft. COVID-19. Military Operation Research.

1. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Pesquisador do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: igor.pinheiro@marinha.mil.br

2. Mestre em Engenharia de Produção pela UFF. Gerente de Projeto do CASNAV, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: luiz.frederico@marinha.mil.br

3. Mestre em Engenharia de Produção pela UFF. Pesquisador do CASNAV, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: sergiomnmaeda@gmail.com

4. Mestrando em Engenharia Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP - Brasil. E-mail: l228595@g.unicamp.br

5. Mestre em Engenharia de Produção pela UFF. Servidor do Ministério da Saúde, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: victorrrm@gmail.com

6. Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor Associado no Departamento de Engenharia de Produção da UFF. Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFF, Niterói, RJ - Brasil. E-mail: cfsg1@bol.com.br

7. Doutor em Engenharia de Produção pela UFF. Gerente de Projetos e Analista de Estudos Complexos do CASNAV. Professor do Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: marcos.santos@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

À medida que a pandemia do coronavírus e seu impacto se espalham, os sistemas de saúde em todo o mundo estão respondendo com medidas de proteção em grande escala e realocação de recursos para tentar conter o avanço do vírus. Analisando os números de casos, mortes e consequências econômicas causadas pela COVID-19, pode-se afirmar que a pandemia representa o maior e mais rápido desafio para os sistemas de saúde pública em décadas (RASMUSSEN; KOELLING, 2020).

De acordo com Moreira (2020), o acelerado aumento do número de casos da doença exige que os países aumentem as vagas nas unidades de terapia intensiva (UTI). Doenças respiratórias, neoplasias, cardiopatias, hipertensão e diabetes aumentam sua letalidade. Além disso, a pandemia está provando ter impactos profundos na economia global, com trilhões de dólares evaporando das bolsas de valores do mundo, empresas sendo obrigadas a fechar suas portas para evitar um colapso absoluto, além de milhões de pessoas perdendo seus empregos (OZAMIZ-ETXEBARRIA et al., 2020).

Para Sutter et al. (2020), o avanço da doença vem destacando uma série de fraquezas dos sistemas de saúde do mundo, evidenciando os problemas no acesso aos recursos essenciais necessários para enfrentar essa pandemia, como falta de respiradores, medicamentos e equipamentos de proteção.

A capacidade operacional dos estados brasileiros para o enfrentamento da COVID-19 foi analisada por Borges et al. (2020), e os autores chegaram à conclusão de que há uma distribuição desigual de recursos hospitalares, disponibilidade de medicamentos e quantidade de leitos disponíveis entre os estados, o que parece interferir na condição de enfrentamento da doença, com a possibilidade de impactar as taxas de letalidade pela COVID-19.

No início de dezembro de 2021, o Brasil registrava mais de 22.100.000 casos, com aproximadamente 600 mil mortes confirmadas (BRASIL, 2021). Essa situação crítica, que oferece risco de colapso aos sistemas de saúde dos estados brasileiros, torna importante estudar formas de apoiar principalmente as cidades mais afetadas pela COVID-19.

Dada a complexidade da pandemia, faz-se mister a utilização de ferramentas eficientes, tanto para a estruturação e a modelagem do problema a ser analisado quanto para a definição e a ordenação de estratégias de solução. Para o entendimento da situação problemática, neste artigo é aplicado

o método de estruturação *Value-Focused Thinking* (VFT), visando definir os objetivos e obter uma possível forma de combater a pandemia no país.

Tendo em vista a situação precária da economia e do sistema de saúde do Brasil, é preciso fazer uso dos recursos no combate à pandemia da forma mais eficiente e eficaz possível. Sendo assim, o objetivo deste artigo é propor uma estratégia de roteirização, mediante a aplicação da modelagem matemática do problema do caixeiro-viajante (*Travelling Salesman Problem* — TSP), para a distribuição de medicamentos, respiradores e insumos pelos estados brasileiros mais afetados pela pandemia. Para tal, é sugerido o emprego da aeronave KC-2, adquirida pela Marinha do Brasil (MB) e com previsão de entrar em serviço nos próximos anos, por se tratar de um avião multimissão e que elevará a capacidade de apoio logístico militar da Força Naval. Cabe ressaltar, contudo, que a mesma modelagem poderia ser empregada para outras aeronaves, como o KC-390, da Força Aérea Brasileira (FAB), rotineiramente empregado em ajudas humanitárias no Brasil. Da mesma sorte, a metodologia pode ser adaptada para o combate a outras epidemias, em caso de desastres naturais ou como apoio às ações cívico-sociais em geral.

Este artigo, portanto, apresenta relevância para academia e sociedade, pois apresenta um *framework* facilmente replicável para o apoio à tomada de decisão de alto nível no combate a um problema real que vem afetando a vida da sociedade no Brasil e no mundo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Buscando ter-se uma visão ampla do estado da arte e da relevância do tema pesquisado, realizou-se uma pesquisa na base de dados Scopus, considerando-se o modelo de *webi-bliomining* proposto por Costa (2010), por aplicações de TSP e algoritmo *branch and bound* na área de saúde.

2.1. BRANCH AND BOUND

Realizou-se pesquisa por “*branch and bound*”, limitando-se os resultados aos seguintes termos: “*branch and bound method*”, “*branch and bound*”, “*branch and bounds*”, “*branch-and-bound algorithms*”, “*branch and bound algorithm*” ou “*branch-and-bound*”. Encontraram-se 27 resultados, divididos entre 14 artigos de periódicos e 13 de conferência.

Um estudo bibliométrico foi desenvolvido para identificar o ano de publicação e *clusters* de palavras-chave. O *software*

entre 13 artigos de periódicos, 7 artigos de conferência e 2 capítulos de livros.

Observando-se os trabalhos ao longo do tempo (Figura 3), percebe-se a moda em 2 (9 dos 17 anos com publicações) e vê-se que nos últimos 4 anos foram publicados 2 artigos



Figura 3. Distribuição dos artigos de periódico por ano.

anualmente, o que demonstra consistência na aplicação de TSP e *branch and bound* para rotas na área de saúde.

A construção de *clusters* de palavras-chave (Figura 4) gerou 4 grupos, totalizando 54 itens com ocorrências de “*problem solving*”, “*optimization*” e “*simulation*”, de acordo com a pesquisa anterior. Destaca-se a ocorrência de “*vehicle routing*” e “*routing algorithms*”, termos muito correlacionados à presente pesquisa.

2.3. TRAVELLING SALESMAN PROBLEM E COVID-19

Pesquisaram-se aplicações de TSP voltadas para o combate à COVID-19, o que resultou em dois artigos. No primeiro, o TSP foi usado como ferramenta de auxílio para identificar a rota ótima para o hospital mais próximo (GUEVARA; PENAS, 2020); no segundo, para distribuição de alimentos

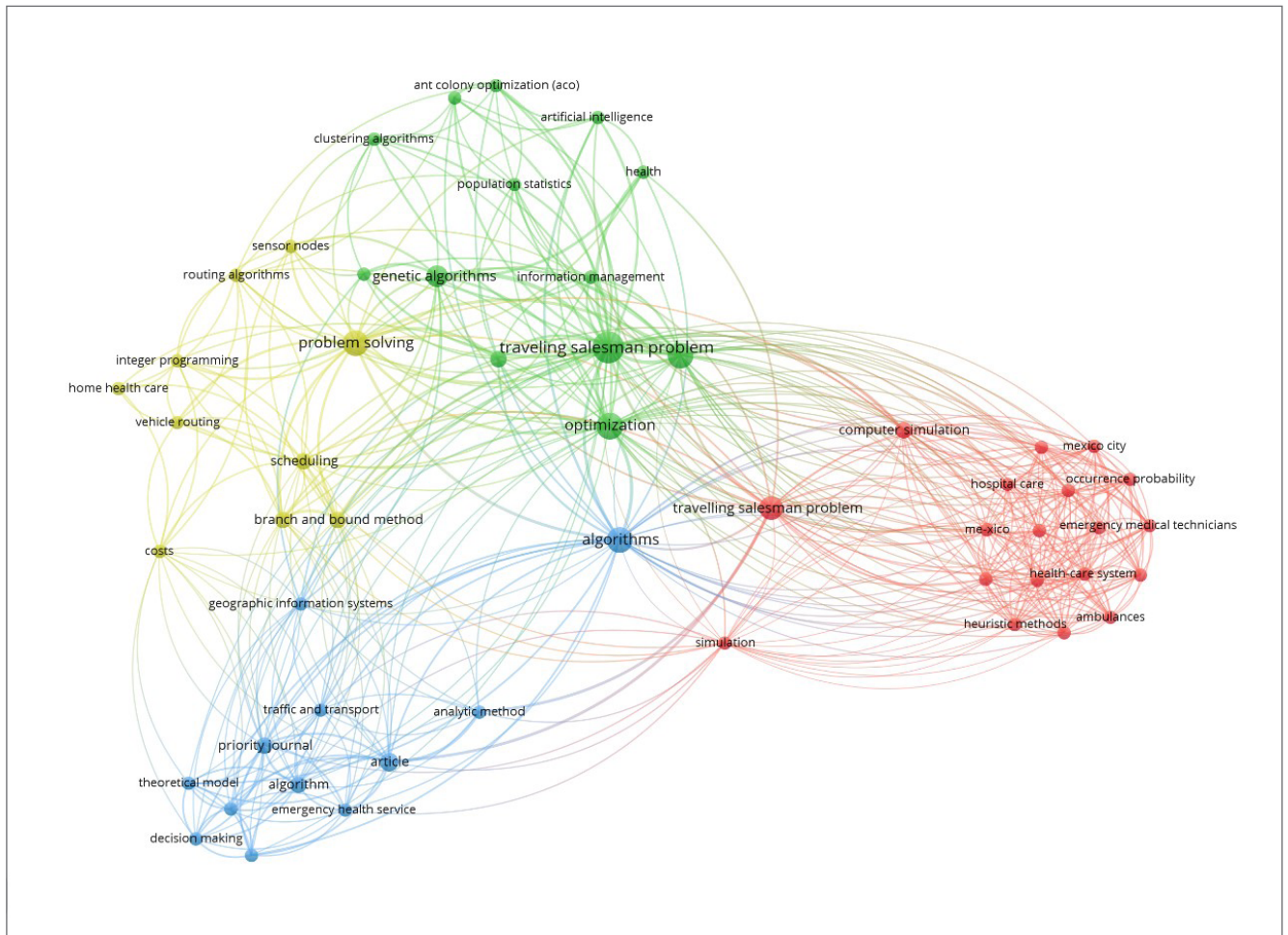


Figura 4. Clusters de palavras-chave.

por conta da crise causada pela pandemia (BAYTÜRK et al., 2021).

A utilização do TSP para a seleção de rotas possui diversas aplicações na literatura, até mesmo em problemas relacionados ao enfrentamento da crise causada pela pandemia de COVID-19. O presente trabalho representa uma nova aplicação do algoritmo, na proposição de rota otimizada para a prestação de apoio logístico aos estados brasileiros no combate à pandemia.

3. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

Para a estruturação e o escopo da situação problemática, neste artigo foi utilizado o processo de tomada de decisão proposto por Franco e Montibeller (2010), que define duas fases: divergente e convergente, como observado na Figura 5.

Na fase divergente, o objetivo principal é o entendimento da situação problemática, com a realização de *brainstorming* pelos autores e entrevistas com especialistas em saúde pública, buscando-se apreender conceitos importantes afetos

à problemática da pandemia. A parte empírica desta pesquisa foi projetada para corresponder à complexidade intrínseca do cenário de pandemia enfrentado atualmente, que vem ocasionando o colapso dos sistemas de saúde espalhados pelo Brasil e pelo mundo. Ainda na primeira fase, verificou-se a necessidade de identificação e estruturação dos objetivos para a resolução do problema, notadamente as ações a serem tomadas pelo Poder Público no combate à pandemia, estabelecendo uma rede de objetivos de meios e fins. Segundo Abuabara et al. (2019), nessa fase, informações e ideias precisam estar bem estabelecidas e organizadas, uma vez que alimentam a fase seguinte (convergente).

Na fase convergente, aplicando o conhecimento útil apreendido no estágio anterior, busca-se definir os objetivos, critérios e alternativas de solução que comporão o modelo, visando-se definir as estratégias de solução do problema. Existe a tendência de se enxergar como problemas situações que requerem decisões. De modo geral, para a resolução dessas situações problemáticas, são identificadas alternativas e só depois são considerados os objetivos ou critérios para avaliá-las (KEENEY, 1992).

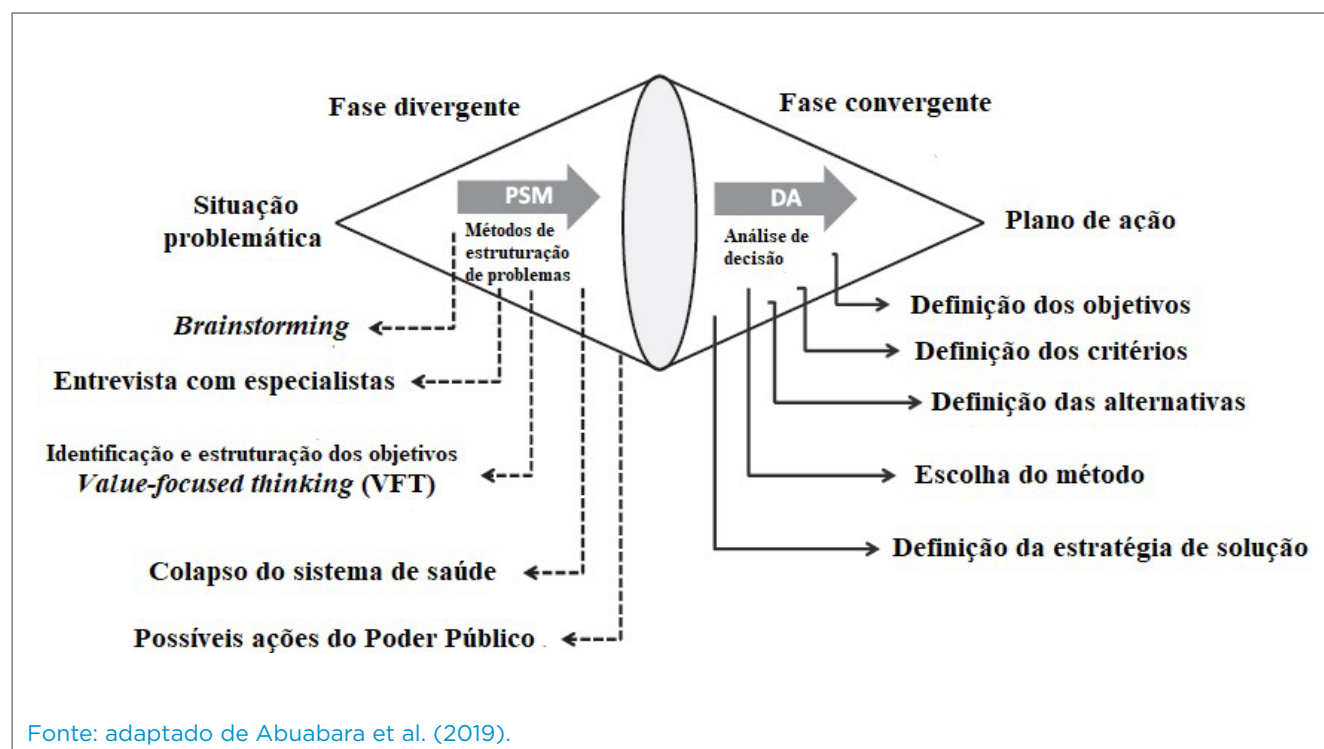


Figura 5. Processo de tomada de decisão.

Para Keeney (1996), valores podem ser definidos como princípios para avaliar o quão desejável cada possível alternativa ou consequência pode ser. Apesar de ser útil realizar iterações entre articular valores e criar alternativas, o princípio utilizado deve ser “valores primeiro”.

O VFT visa impulsionar um pensamento voltado para definir os objetivos que se almejam e então descobrir como alcançá-los. Os objetivos representam uma declaração do que se deseja obter e são caracterizados por um contexto, um objeto e uma direção de preferência, dividindo-se em objetivos fundamentais e objetivos meio (KEENEY, 1994).

Neste trabalho, os valores e conceitos foram separados em objetivos fundamentais e objetivos meio, conforme apresentado na rede de objetivos (Figura 6).

Analisando a rede de objetivos, observam-se quatro objetivos meio: capacidade de transporte interestadual; transporte de respiradores; distribuição de alimentos a regiões carentes; e reposição de medicamentos aos hospitais mais afetados pela crise. O objetivo fundamental é a prestação de apoio aos sistemas de saúde dos estados brasileiros no combate à pandemia, com as máximas eficiência e eficácia.

Com os objetivos estabelecidos, os autores realizaram consulta a diversos especialistas, procurando obter as alternativas de solução que possibilitariam um efetivo combate à pandemia. Concluíram que uma estratégia viável e eficiente seria o emprego da aeronave KC-2, já que que essa estratégia cumpre todos os objetivos considerados importantes na análise.

Visando propor uma rota otimizada de transporte de medicamentos, equipamentos e alimentos às regiões mais necessitadas do país, neste artigo foi aplicado o algoritmo TSP para a obtenção de um trajeto percorrido pela aeronave KC-2 com a menor distância e custos possíveis.

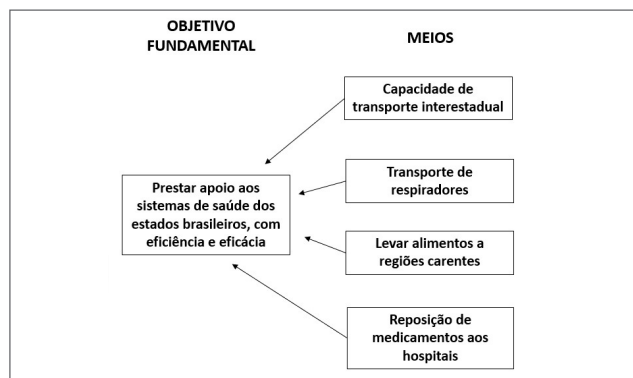


Figura 6. Rede de objetivos (fundamentais e meio).

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

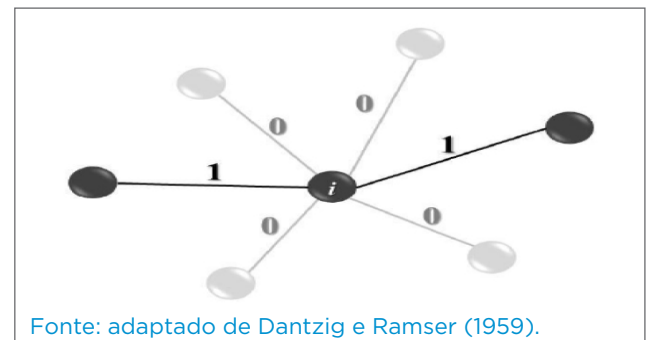
No processo para a tomada da decisão, a Engenharia de Produção torna-se um mecanismo fundamental no assessoramento dos gestores (SANTOS et al., 2019). Nessa grande área da Engenharia, a Pesquisa Operacional (PO) é o campo abrangente e multidisciplinar que emprega modelos matemáticos e analíticos para a solução de problemas complexos do cotidiano (TEIXEIRA et al., 2019).

A PO apresenta modelos quantitativos que podem ser trabalhados por meio de programas computacionais, buscando uma simulação válida com base em dados relevantes das organizações (BLANCK; BANDEIRA, 2015). Nesse contexto, a programação linear e a otimização combinatória buscam maximizar ou minimizar uma função objetivo, obedecendo a restrições de diferentes dados do mundo real. Dessa forma, a programação linear posiciona-se, continuamente, como uma solução para problemas que abrangem recursos escassos (GOMES et al., 2019).

Os métodos de PO vêm sendo rotineiramente utilizados no auxílio à decisão em assuntos afetos à saúde pública, como na seleção de um navio de assistência hospitalar da Marinha do Brasil a ser empregado no combate à pandemia no Brasil (COSTA et al., 2020) e na melhoria do atendimento do sistema hospitalar de emergência no município do Rio de Janeiro (SANTOS et al., 2015), estudos que podem ser replicados no combate à COVID-19.

Entre os temas analisados por meio dessas técnicas, pode-se destacar o TSP (ANDRADE JÚNIOR et al., 2016).

Uma resolução ao TSP foi proposta pioneiramente por Dantzig e Ramser (1959), que consideraram um grafo $G(V, A)$ qualquer para descrevê-lo, em que V representaria o conjunto de nós e A , o conjunto de arestas que liga cada nó (Figura 7).



Fonte: adaptado de Dantzig e Ramser (1959).

Figura 7. Formulação clássica do *Travelling Salesman Problem*.

Os autores ainda descrevem que os nós representam os pontos de origem/destino e as arestas são os pares ordenados desses pontos, que correspondem ao caminho possível para realizar o trajeto. Assim, a solução do TSP consiste em identificar uma rota que se inicie e termine no mesmo ponto de origem, sendo conhecidas as distâncias entre os pontos de um dado grafo, passando por todos os pontos uma única vez e formando um circuito hamiltoniano de menor custo (ELGESEM et al., 2018).

A modelagem matemática do TSP analisa as condições de solicitação de cada nó de um dado grafo. E, com base nisso, a versão do TSP foi formulada por Dantzig e Ramser (1959), que consideraram ser esta uma variação do *Vehicle Routing Problem*, além de um problema de otimização pertencente à classe NP-Hard, de acordo com Equações de 1 a 5.

$$\begin{aligned} x_{ij} &= 1, \text{ se for percorrido o vértice de } i \text{ até } j; \\ x_{ij} &= 0, \text{ caso contrário;} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Min. } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (2)$$

Em que:

c_{ij} = a distância percorrida entre os vértices i e j .

Sujeito a:

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1, \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1, \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} x_{ij} \leq |V| - 1, \forall V \subset A: 1 < |V| < (n - 1) \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

Desse modo, para operacionalizar a resolução do TSP, (1) representa a variável binária para cada vértice, limitado por (6). A função objetivo (2) representa o somatório dos índices de todo o percurso e, normalmente, busca-se minimizar esse índice total (custo, distância etc.). A restrição (3) garante que do vértice saia apenas um arco para qualquer vértice; a restrição (4) garante que o vértice seja acessado por apenas um

arco vindo de qualquer vértice; tem-se assim, a garantia de que o viajante passe por todos os vértices uma só vez. A restrição (5) garante que a solução contenha um único ciclo que cubra todos os vértices, sem repetições.

O problema de roteamento de veículos, em razão da mutação urbana, demanda soluções que possam ser implementadas e parametrizadas por diferentes realidades operacionais (LAPORTE, 1992; BRAEKERS et al., 2016).

Existem inúmeras heurísticas e meta-heurísticas na literatura que são dedicadas à resolução de problemas de roteamento de veículos (OYOLA et al., 2018; SCHIFFER et al., 2019). No entanto, dado o elevado número de alternativas às diversas situações, é necessário que, ao se selecionar uma dada aplicação, ela se adeque não somente a apresentar um resultado matemático, mas também permita adaptar a abordagem estocástica (JUNEJA et al., 2019).

4.2. ALGORITMO BRANCH AND BOUND

Esse algoritmo foi desenvolvido em 1960 por Land e Doig para a resolução de problemas de Programação Inteira. Segundo Belfiore e Fávero (2013), a estrutura para a solução é representada por uma árvore, em que os nós são os subproblemas e os ramos sempre conectam outros dois nós, o que indica as novas restrições que serão acrescentadas ao modelo. A Figura 8 exemplifica uma árvore gerada pelo algoritmo de *branch and bound*.

4.3. AERONAVE KC-2

O KC-2, originalmente conhecido como C-1T na Marinha dos Estados Unidos da América, é uma aeronave multimissão fabricada pela empresa Grumman, empregada desde a década de 1950 em missões antissubmarino e como *carrier onboard delivery* (COD), isto é, em apoio logístico.

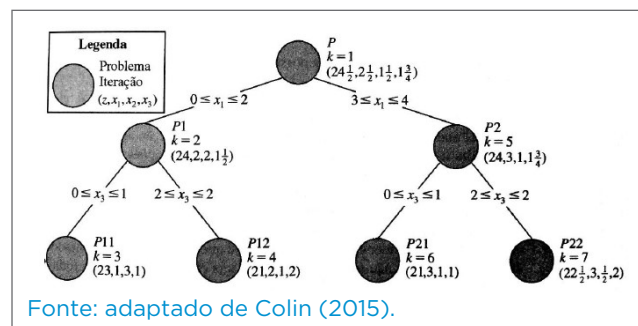


Figura 8. Árvore de *branch and bound*.

Os aviões KC-2 estão sendo modernizados e receberão novos motores e sistemas. A MB planeja empregá-los para realizar o reabastecimento em voo (REVO) de seus caças AF-1B/C. Os KC-2 também poderão ser empregados para: evacuação aeromédica; apoio às operações de busca e salvamento; apoio às operações de defesa nuclear, biológica, química e radiológica (NBQR); transporte de cargas e passageiros; e para o lançamento de paraquedistas até a altitude de 25.000 pés (MARINHA DO BRASIL, 2018; MINISTÉRIO DA DEFESA, 2021).

Por suas características, é possível inferir que o KC-2 venha a ser empregado pela MB em auxílio humanitário. A presença de aeronaves de asa fixa contribuiu sobremaneira para as ações de combate ao coronavírus. Por exemplo, outra aeronave multimissão, o KC-390 da FAB, já vem sendo empregado em diversas missões no apoio à pandemia da COVID-19, transportando alimentos, medicamentos e insumos em geral para regiões necessitadas (EMBRAER, 2020; FAB, 2020).

5. METODOLOGIA

Para a confecção do presente estudo, foi realizada consulta à página oficial do Ministério da Saúde — Painel Coronavírus (BRASIL, 2021) a fim de se obter a relação de estados mais afetados pela COVID-19 no país. A consulta foi realizada em 11 de maio de 2021. Tendo em vista a heterogeneidade dos estados brasileiros no que tange à capacidade logística, operacional e de números de casos/óbitos nas regiões, realizou-se consulta a especialistas em saúde pública e verificou-se que um critério bastante usual para a análise do impacto da pandemia é a incidência da doença por cada 100 mil habitantes. Com isso, foi obtido o conjunto dos dez estados mais afetados pela pandemia (Tabela 1).

Ressalta-se que a região Sul apresenta a menor média de incidência do país. Entretanto, visando apresentar uma rota otimizada que abranja todas as regiões do Brasil, o Rio Grande do Sul foi adicionado ao conjunto de estados por apresentar a maior média do Sul (56).

5.1. APLICAÇÃO DO SOFTWARE LIVRE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM SOLVER AND GENERATOR

Esse *software* tem como objetivo gerar e resolver problemas relacionados ao TSP mediante a aplicação do algoritmo

Tabela 1. Estados mais afetados pela pandemia.

| Estado | Incidência/100 mil habitantes |
|-------------------|-------------------------------|
| Distrito Federal | 127,5 |
| Mato Grosso | 115,1 |
| Amazonas | 114,1 |
| Roraima | 117 |
| Ceará | 103,6 |
| Sergipe | 98,6 |
| Espírito Santo | 101 |
| Rio de Janeiro | 125,7 |
| Rio Grande do Sul | 56 |
| Amapá | 93 |

branch and bound. Uma entrada é um número de cidades e uma matriz de preços/distância de cidade para cidade. A matriz pode ser preenchida com valores aleatórios em um determinado intervalo (útil para gerar tarefas). O resultado é uma rota ideal, matrizes passo a passo de resolução e resolução de gráfico (TSPSG, 2011).

Para a aplicação do *software*, é necessário gerar a matriz de distâncias em quilômetros entre as cidades/estados. Para a obtenção dos valores, foram consideradas as distâncias entre os principais aeroportos dos estados (Tabela 2).

Ressalta-se que os valores da diagonal principal são iguais a 0, pois representam a distância de um determinado estado a ele próprio. Além disso, os valores simétricos em relação à diagonal principal são iguais, por representarem a recíproca de um estado em relação a outro. Os termos “City 1” a “City 10” são atribuídos pelo *software Travelling Salesman Problem Solver and Generator* (TSPSG) e não podem ser editados. O estado de São Paulo (City 1) foi arbitrado como o ponto de partida e chegada, por ser a megalópole que concentra mais recursos e insumos no combate à pandemia, bem como onde se encontra o principal aeroporto do país, o Aeroporto Internacional de Guarulhos. Contudo, a mesma modelagem poderia ser aplicada com base em outras cidades, a critério da alta administração pública. A Figura 9 ilustra a tela inicial do *software*, com os dados das distâncias entre os estados inseridos.

Tabela 2. Distâncias entre os estados mais afetados pela pandemia.

| | | SP | DF | MT | AM | RR | CE | SE | ES | RJ | RS |
|---------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| City 1 | SP | 0 | 1.043 | 1.162 | 3.874 | 4.600 | 2.717 | 2.079 | 874 | 451 | 894 |
| City 2 | DF | 1.043 | 0 | 711 | 3.448 | 4.184 | 1.959 | 1.653 | 1.246 | 1.148 | 1.692 |
| City 3 | MT | 1.162 | 711 | 0 | 2.740 | 3.476 | 2.663 | 2.358 | 1.688 | 1.503 | 1.593 |
| City 4 | AM | 3.874 | 3.448 | 2.740 | 0 | 745 | 4.179 | 4.559 | 4.520 | 4.336 | 4.173 |
| City 5 | RR | 4.600 | 4.184 | 3.476 | 745 | 0 | 4.903 | 5.290 | 5.256 | 5.072 | 4.909 |
| City 6 | CE | 2.717 | 1.959 | 2.663 | 4.179 | 4.903 | 0 | 1.091 | 2.149 | 2.578 | 3.602 |
| City 7 | SE | 2.079 | 1.653 | 2.358 | 4.559 | 5.290 | 1.091 | 0 | 1.363 | 1.873 | 3.029 |
| City 8 | ES | 874 | 1.246 | 1.688 | 4.520 | 5.256 | 2.149 | 1.363 | 0 | 532 | 1.760 |
| City 9 | RJ | 451 | 1.148 | 1.503 | 4.336 | 5.072 | 2.578 | 1.873 | 532 | 0 | 1.305 |
| City 10 | RS | 894 | 1.692 | 1.593 | 4.173 | 4.909 | 3.602 | 3.029 | 1.760 | 1.305 | 0 |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| City 1 | --- | 1043 | 1162 | 3874 | 4600 | 2717 | 2079 | 874 | 451 | 894 |
| City 2 | 1043 | --- | 711 | 3448 | 4184 | 1959 | 1653 | 1246 | 1148 | 1692 |
| City 3 | 1162 | 711 | --- | 2740 | 3476 | 2663 | 2358 | 2688 | 1503 | 1593 |
| City 4 | 3874 | 3448 | 2740 | --- | 745 | 4179 | 4559 | 4520 | 4336 | 4173 |
| City 5 | 4600 | 4184 | 3476 | 745 | --- | 4903 | 5290 | 5266 | 5072 | 4909 |
| City 6 | 2717 | 1959 | 2663 | 4179 | 4903 | --- | 1091 | 2149 | 2578 | 3602 |
| City 7 | 2079 | 1653 | 2358 | 4559 | 5290 | 1091 | --- | 1363 | 1873 | 3029 |
| City 8 | 874 | 1246 | 2688 | 4520 | 5266 | 2149 | 1363 | --- | 532 | 1760 |
| City 9 | 451 | 1148 | 1503 | 4336 | 5072 | 2578 | 1873 | 532 | --- | 1305 |
| City 10 | 894 | 1692 | 1593 | 4173 | 4909 | 3602 | 3029 | 1760 | 1305 | --- |

Figura 9. Matriz com distâncias entre os aeroportos dos estados.

5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS ALCANÇADOS

Após a inserção dos dados no *software* TSPSG, foi obtida a seguinte rota otimizada (Figura 10).

A Figura 11 ilustra a rota a ser percorrida pelo KC-2 no apoio ao combate à pandemia: SP → RS → DF → MT → AM → RR → CE → SE → ES → RJ → SP.

O tratamento analítico do problema mostrou-se demasiadamente trabalhoso, pois geraria um total de 9! — ou 362.880 alternativas de rotas —, o que inviabilizaria esse

tipo de abordagem. Desse modo, torna-se claro que, sem a utilização de uma ferramenta computacional, a resolução do problema seria praticamente impossível.

A solução obtida mediante a aplicação do *software* apresentou um ciclo que percorreu todos os estados componentes do modelo, perfazendo o total de 15.122 quilômetros. Embora tenha sido apresentada a solução do TSP para dez estados a serem visitados pelo KC-2, a metodologia pode ser replicada para uma quantidade qualquer de pontos ou *clusters*.

Resulting path:

City 1 -> City 10 -> City 2 -> City 3 -> City 4 -> City 5 -> City 6 -> City 7 -> City 8 -> City 9 -> City 1

The price is 15122 units.

Figura 10. Rota obtida após a aplicação do software *Travelling Salesman Problem Solver and Generator*.

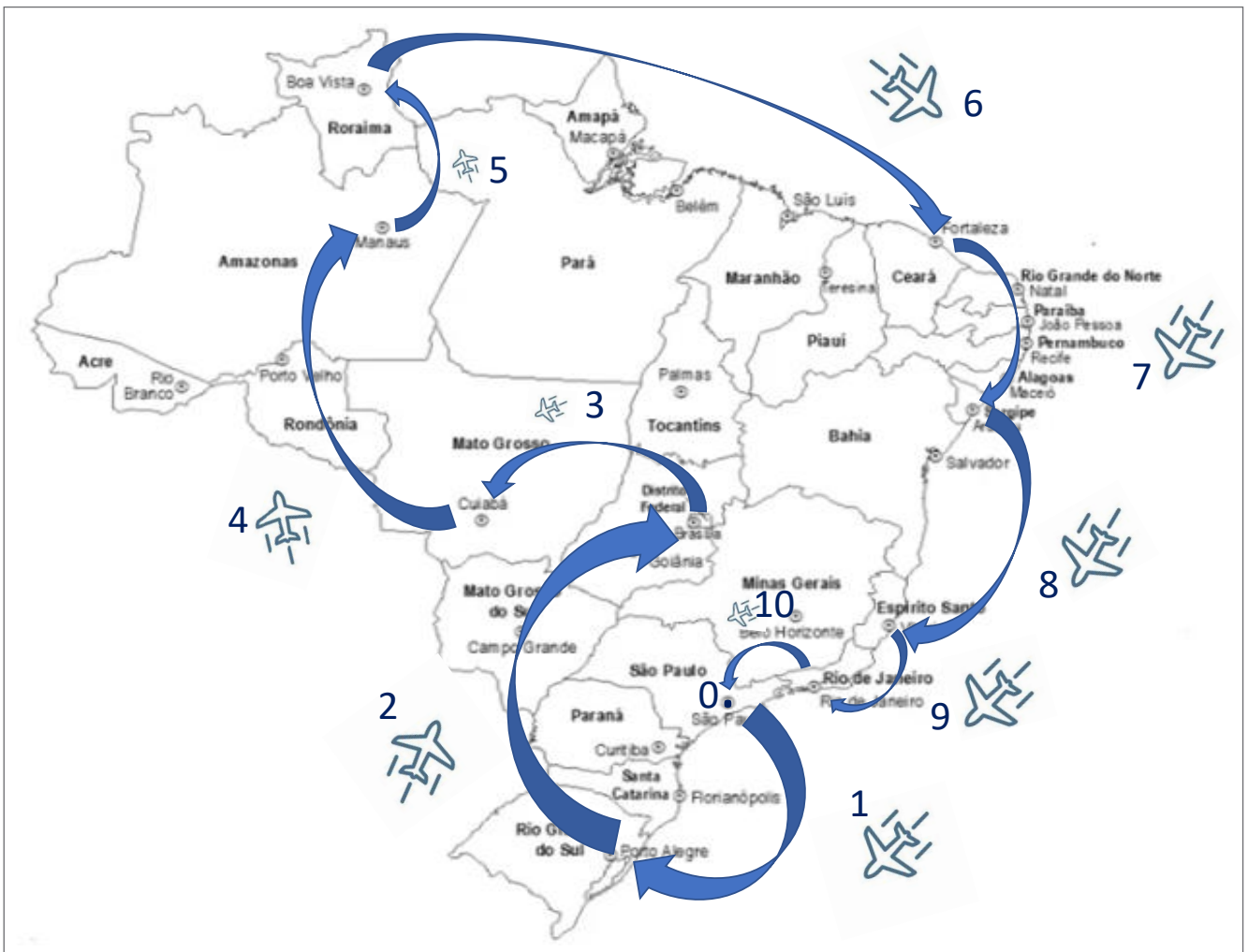


Figura 11. Rota ilustrada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que a chamada “segunda onda” parece ser uma ameaça cada vez mais próxima, faz-se necessária a articulação de medidas emergenciais para combater o avanço da doença, principalmente por parte do Poder Público. O objetivo deste estudo foi propor uma rota otimizada a ser percorrida pela aeronave KC-2, prestando apoio logístico aos estados

mais afetados pela pandemia do coronavírus, mediante a aplicação dos conceitos do TSP, visando minimizar os custos e o tempo necessários para essa distribuição por meio da redução da distância percorrida.

Foram considerados dados reais, disponibilizados pelo Ministério da Saúde, relativos ao panorama atual dos estados brasileiros no combate à pandemia. Vislumbrou-se no artigo a aplicação do KC-2 na prestação do apoio proposto, tendo em vista

que aeronaves militares vêm sendo cada vez mais empregadas em ajudas humanitárias no combate à pandemia. Dessa forma, acredita-se que o modelo apresentado permita uma opção de planejamento das rotas que leve ao melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, além de otimizar o tempo gasto para percorrer o maior número possível de cidades/estados do país.

Quanto ao conjunto de estados componentes do modelo, verificaram-se representantes de todas as regiões do país. Em virtude das dimensões continentais do Brasil, o planejamento de um apoio logístico a essas regiões é uma tarefa bastante complexa, contudo o algoritmo apresentado permitiu tornar o processo decisório muito mais simples, transparente e robusto.

Ressalta-se a facilidade, a flexibilidade e a rapidez de aplicação da metodologia utilizada neste trabalho, que pode ser replicada no auxílio à resolução de problemas reais dos mais diversos tipos — táticos, operacionais e estratégicos —, apresentando relevância para a academia e sociedade.

Quanto às limitações do estudo, a capacidade da aeronave, em termos de volume e autonomia, não foi considerada. Como indicações de futuras pesquisas, recomenda-se implementar restrições que considerem a heterogeneidade de necessidades entre os estados (medicamentos, alimentos, respiradores, máscaras de proteção, entre outros), tendo em vista o caráter multimissão do KC-2.

REFERÊNCIAS

- ABUABARA, L.; PAUCAR-CACERES, A.; BURROWES-CROMWELL, T. Consumers' values and behaviour in the Brazilian coffee-in-capsules market: Promoting circular economy. *International Journal of Production Research*, v. 57, n. 23, p. 7269-7288, 2019. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1629664>
- ANDRADE JÚNIOR, B. D.; REIS, T. C. B.; BITTENCOUT, F. R.; NEVES, P. C. B.; ASSIS REIS, J. Programação linear aplicada à problemas de designação de mão de obra baseada nas competências profissionais. *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística Da Marinha-Publicação Online*, v. 2, n. 1, p. 365-376, 2016. <https://doi.org/10.5151/marine-spolm2015-140482>
- BAYTÜRK, E.; ESNAF, S.; KUCUKDENIZ, T. Two-Phase Fuzzy C-Means and genetic algorithm for food distribution. In: THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOR PRODUCTION RESEARCH. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021. p. 453-460. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62784-3_38
- BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. *Pesquisa operacional para cursos de engenharia*. Brasil: Elsevier, 2013. v. 1.
- BLANCK, M.; BANDEIRA, D. L. Análise da capacidade operacional de um centro cirúrgico: modelagem matemática aplicada ao dimensionamento e alocação de recursos. *Revista de Gestão*, v. 22, n. 4, p. 565-583, 2015. <https://doi.org/10.5700/rege578>
- BORGES, B.; DUQUE, D.; VELOSO, F. A. A.; SENNA, J. J.; PEREIRA, L. V.; RIBEIRO, L.; MIRANDA, L.; PIRES, M. C. C.; BALASSIANO, M. G.; PESSÔA, S. DE A. Uma nova rodada de incerteza. *Boletim Macro - FGV/IBRE*, 2020.
- BRAEKERS, K.; RAMAEKERS, K.; VAN NIEUWENHUYSE, I. The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, v. 99, p. 300-313, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Painel de casos de doença pelo coronavírus 2019 (COVID-19) no Brasil*. Brasil: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: <http://plataforma.saude.gov.br/coronavirus/>. Acesso em: 3 dez. 2021.
- COLIN, E. C. *Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas*. Livros Técnicos e Científicos, 2015.
- COSTA, H. G. Model for webibliomining: proposal and application. *Revista FAE*, v. 13, n. 1, p. 115-126, 2010.
- COSTA, I. P. A.; MAÊDA, S. M. N.; TEIXEIRA, L. F. H. S. B.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. Choosing a hospital assistance ship to fight the Covid-19 pandemic. *Revista de Saúde Pública*, 54, p. 79, 2020. <https://doi.org/10.11606/S1518-8787.2020054002792>
- DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The truck dispatching problem. *Management Science*, v. 6, n. 1, p. 80-91, 1959. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- ELGESEM, A. S.; SKOGEN, E. S.; WANG, X.; FAGERHOLT, K. A traveling salesman problem with pickups and deliveries and stochastic travel times: An application from chemical shipping. *European Journal of Operational Research*, v. 269, n. 3, p. 844-859, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.023>
- EMBRAER. *A Força Aérea Brasileira no combate ao coronavírus*. Operação COVID-19. Embraer, 2020. Disponível em: <https://embraer.com/br/pt/a-forca-aerea-brasileira-no-combate-ao-coronavirus>. Acesso em: 3 dez. 2021.
- FORÇA AÉREA BRASILEIRA (FAB). *KC-390 Millennium transporta 10 toneladas de materiais para Manaus e Boa Vista*. Operação Covid-19. FAB, 2020. <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/36178/>. Acesso em: 3 dez. 2021.
- FRANCO, L. A.; MONTIBELLER, G. Problem structuring for multicriteria decision analysis interventions. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, 2010.

- GOMES, J.; MARIZ, E. C.; SILVA, A. M.; KAWAMOTO JÚNIOR, L. T. K. Programação linear aplicada à mobilidade urbana: análise do trajeto da residência à escola de estudantes universitários. *Revista Eniac Pesquisa*, v. 8, n. 2, p. 280-297, 2019.
- GUEVARA, C.; PENAS, M. S. Surveillance routing of COVID-19 infection spread using an intelligent infectious diseases algorithm. *IEEE Access*, v. 8, p. 201925-201936, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3036347>
- JUNEJA, S. S.; SARASWAT, P.; SINGH, K.; SHARMA, J.; MAJUMDAR, R.; CHOWDHARY, S. Travelling salesman problem optimization using genetic algorithm. In: AMITY INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE. *Anais...* 2019. p. 264-268.
- KEENEY, R. L. Creativity in decision making with value-focused thinking. *Sloan Management Review*, v. 35, p. 33, 1994.
- KEENEY, R. L. *Value-focused thinking: a path to creative decisionmaking*. Cambridge: Harvard University, 1992.
- KEENEY, R. L. Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives. *European Journal of Operational Research*, v. 92, n. 3, p. 537-549, 1996. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(96\)00004-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(96)00004-5)
- LAPORTE, G. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, v. 59, n. 3, p. 345-358, 1992. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90192-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90192-C)
- MARINHA DO BRASIL. *Diretoria de Aeronáutica da Marinha realiza primeiro acionamento dos motores de um avião KC-2*. Brasil: Marinha, 2018. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/noticias/diretoria-de-aeronautica-da-marinha-realiza-primeiro-acionamento-dos-motores-de-um-aviao-kc/>. Acesso em: 1º dez. 2021.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. *Marsh Aviation Company divulga imagens do KC-2 Turbo Trader da Marinha do Brasil*. Brasil: Ministério da Defesa, 2021. Disponível em: <https://www.defesa.tv.br/marsh-aviation-company-divulga-imagens-do-kc-2-turbo-trader-da-marinha-do-brasil/>. Acesso em: 1º dez. 2021.
- MOREIRA, R. S. COVID-19: unidades de terapia intensiva, ventiladores mecânicos e perfis latentes de mortalidade associados à letalidade no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, n. 5, e00080020, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00080020>
- OYOLA, J.; ARNTZEN, H.; WOODRUFF, D. L. The stochastic vehicle routing problem, a literature review, part I: models. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, v. 7, n. 3, p. 193-221, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13676-016-0100-5>
- OZAMIZ-ETXEBARRIA, N.; DOSIL-SANTAMARIA, M.; PICAZA-GORROCHATEGUI, M.; IDOAGA-MONDRAGON, N. Niveles de estrés, ansiedad y depresión en la primera fase del brote del COVID-19 en una muestra recogida en el norte de España. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, n. 4, e00054020, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00054020>
- RASMUSSEN, T. E.; KOELLING, E. E. A military perspective on the vascular surgeon's response to the COVID-19 pandemic. *Journal of Vascular Surgery*, v. 71, n. 6, p. 1821-1822, 2020. <https://doi.org/10.1016%2Fj.jvs.2020.03.036>
- SANTOS, M.; MARTHA, L. C.; REIS, L.; TEIXEIRA, L.F.H.S.B. Utilização do algoritmo Branch and Bound na otimização da produção de uma indústria de produtos plásticos. *Revista de Trabalhos Acadêmicos Lusófona*, v. 2, n. 2, p. 218, 2019.
- SANTOS, M.; QUINTAL, R. S.; PAIXÃO, A. C.; GOMES, C. F. S. Simulation of Operation of an Integrated Information for Emergency Pre-Hospital Care in Rio de Janeiro Municipality. *Procedia Computer Science*, v. 55, p. 931-938, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.111>
- SCHIFFER, M.; SCHNEIDER, M.; WALTHER, G.; LAPORTE, G. Vehicle routing and location routing with intermediate stops: a review. *Transportation Science*, v. 53, n. 2, p. 319-343, 2019.
- SUTTER, A.; LLOR, C.; MAIER, M.; MALLÉN, C.; TATSIONI, A.; VAN WEERT, H.; WINDAK, A.; STOFFERS, J. Family medicine in times of 'COVID-19': A generalists' voice. *European Journal of General Practice*, v. 26, n. 1, p. 58-60, 2020. <https://doi.org/10.1080/13814788.2020.1757312>
- TEIXEIRA, L. F. H. S. B.; RIBEIRO, P. C. C.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. Utilização do método SAPEVO-M com parâmetros do modelo SCOR 12.0 para ranqueamento dos fornecedores em uma cadeia de suprimentos de material hospitalar da Marinha do Brasil. *Revista Pesquisa Naval*, n. 31, p. 54-66, 2019.
- TSPSG. *TSP Solver and Generator*. 2011. Disponível em: <https://tspsg.info/en>. Acesso em: 3 dez. 2021.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. *Manual for VOSviewer version 1.6. 8. CWTS Meaningful Metrics*. Leiden: Universiteit Leiden, 2018.