

DISTRIBUIÇÃO LOGÍSTICA DE INSUMOS HOSPITALARES DURANTE A PANDEMIA DA COVID-19

Priscila Damasio
Isabella M. A. da Hora
Laura Bahiense

Programa de Engenharia de Transportes
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

A disseminação de um novo vírus provocou a necessidade de adaptação do ser humano a situações adversas, conduzindo os governantes a se posicionarem para reduzir danos econômicos e sociais. Técnicas de otimização podem auxiliar a tomada de decisão e fornecer uma resposta mais eficiente e sustentável durante este período. Entretanto, observam-se lacunas na literatura a respeito da logística humanitária de distribuição de insumos em um cenário pandêmico e, diante disto, verifica-se a relevância de estudos que desenvolvam modelos matemáticos específicos de otimização. Com isso, este trabalho tem como objetivo propor uma formulação matemática de programação inteira que permite obter soluções sustentáveis para operações logísticas de distribuição de insumos hospitalares durante uma pandemia. Essa formulação foi aplicada em municípios do Rio de Janeiro a partir de dados disponíveis da pandemia do novo coronavírus. Os resultados mostraram a importância de uma cadeia de distribuição otimizada que considera critérios econômicos e sociais.

ABSTRACT

The spread of a new virus made humans adapt to adverse situations, leading governments to make decisions to reduce economic and social damages. Given that, optimization techniques can help decision making and provide a more efficient and sustainable response during this period. However, there are gaps in the literature about the distribution of supplies for humanitarian logistics in a pandemic scenario, so it is required to propose specific optimization mathematical models. This paper presents a mathematical formulation based on integer programming which can be used to obtain sustainable solutions for logistics operations dedicated to distribution of medical supplies during a pandemic. This formulation was applied to some municipalities of Rio de Janeiro considering available data for the new coronavirus pandemic. The results show the importance of an optimized supply chain which considers economic and social criteria.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, nota-se um aumento no número de desastres naturais, epidemias e conflitos armados, tornando imprescindível o oferecimento de respostas logísticas rápidas e eficazes com o objetivo de minimizar sofrimento e perda de vidas (Tofigui *et al.*, 2016). Neste contexto, Maculan e Bahiense (2021) destacam o importante papel dos modelos e métodos de Pesquisa Operacional para o desenvolvimento de ferramentas computacionais que auxiliem na tomada de decisão, melhor aproveitamento dos recursos físicos e humanos envolvidos. Em 2019, ocorreram 396 desastres naturais no mundo, com 11.755 mortes e 95 milhões pessoas afetadas, além de grandes perdas econômicas. A quantidade de desastres no ano de 2019 sofreu um aumento de 15,5% em relação à média anual do período de 2009 a 2018. O Brasil se encontra na lista dos dez países em que mais ocorreram desastres naturais em 2019, contabilizando no total oito acontecimentos (EM-DAT, 2019).

A pandemia do novo coronavírus teve início em 2020, afetou toda a população mundial, alterou intensamente o estilo de vida da sociedade e gerou impactos incalculáveis para a economia. Esse desastre biológico já provocou a morte de mais de 4 milhões de pessoas (OMS, 2021), e ainda continuará causando impactos até que se consiga conter o espriamento do vírus e

promover imunização em grande escala. De acordo com Thompson e Anderson (2021), observa-se uma tendência a ocorrência de novos eventos pandêmicos e epidêmicos que possuem algumas particularidades como a oscilação da demanda e a alteração constante de cenários, a escassez de suprimento e a grande ocupação do ambiente hospitalar por prazo indeterminado.

Os modelos matemáticos auxiliam o processo de tomada de decisão para o atendimento e destinação de recursos após um desastre (Huang *et al.*, 2015). Assim, este artigo objetiva o desenvolvimento de um modelo matemático para otimizar a distribuição de suprimentos hospitalares no cenário atual da pandemia da Covid-19, com foco nos vieses econômico e social da sustentabilidade. Adotou-se como procedimento metodológico as seguintes fases, subdividas em forma de seções: a Seção 2 traz uma revisão bibliográfica sobre logística humanitária e sua relação com os três pilares da sustentabilidade; a Seção 3 apresenta o modelo matemático proposto para determinar a distribuição mais sustentável dos insumos hospitalares no contexto da pandemia; a Seção 4 relata o estudo de caso, explicitando o procedimento de coleta de todos os dados de entrada para o modelo; a Seção 5 apresenta uma análise dos resultados do modelo e sua relação com a sustentabilidade; e por fim, a Seção 6 tece considerações finais sobre o trabalho e propõe sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Logística Humanitária é um ramo da Logística que, por sua vez, é uma subdivisão da Engenharia de Transportes, e, de forma geral, todas essas áreas precisam cooperar para o cumprimento do Artigo 6º da Constituição Federal, que versa sobre o direito social de acesso à educação, saúde, transporte, trabalho, alimentação, dentre outros. É possível notar, portanto, a multidisciplinariedade associada não só ao sistema de Engenharia de Transportes, mas também, em particular, à logística humanitária, que busca garantir o acesso à saúde, alimentação e moradia da população afetada por um desastre ou evento adverso. Segundo Thomas (2003), a logística humanitária engloba os processos e sistemas envolvidos na mobilização de pessoas, recursos, habilidades e conhecimentos para ajudar pessoas vulneráveis afetadas por desastres naturais ou emergências complexas.

Marinho *et al.* (2018) argumentam que a logística humanitária tem relação direta com o gerenciamento de desastres, que tem o propósito não apenas de evitar que um desastre ocorra, mas também de mitigar seus impactos depois de ocorrido. De acordo com Boonmee *et al.* (2017), o gerenciamento de desastres pode ser dividido em quatro estágios: mitigação, preparação, resposta e recuperação, sendo os dois primeiros relativos à fase pré-desastre e os dois últimos relativos à fase pós-desastre.

Diante da importância de haver um comprometimento dos países na busca por soluções eficientes e sustentáveis no atendimento humanitário e na recuperação pós-desastre com a finalidade de garantir melhor resposta em emergências (UNISDR, 2015), todas as ações envolvidas no gerenciamento de uma operação logística humanitária precisam ser definidas de forma eficaz e eficiente, com o objetivo de não só minimizar as perdas humanas, mas também as perdas econômicas e os impactos ambientais envolvidos nos quatro estágios acima descritos (Costa *et al.*, 2015; Thomas e Mizushima, 2005; Thomas, 2003). Desta forma, torna-se importante analisar a logística humanitária sob a ótica da sustentabilidade, considerando simultaneamente seus três pilares: social, ambiental e econômico. Buscando entender a logística

humanitária de forma holística, este trabalho apresenta um breve panorama bibliográfico sobre as tendências relacionadas a ela sob a ótica sustentável.

2.1 Logística humanitária sob a ótica da sustentabilidade ambiental

As atividades logísticas necessárias ao pronto atendimento a um evento adverso, seja ele do tipo lento ou súbito, natural ou provocado pelo homem, impactam diretamente a saúde ambiental do local afetado. Segundo Jilani *et al.* (2018), este impacto pode ser exemplificado pela emissão de poluentes atmosféricos oriundos do transporte de insumos como remédios, alimentos e itens de necessidade básica, bem como pela disposição final de resíduos de forma inadequada, e também seus efeitos no custo total da operação.

Gonçalves e Lima (2018) sugerem o uso de modelagem computacional para direcionar a alocação de recursos e operações de forma ambientalmente mais sustentável. Scholz e Karl (2020) abordam a logística verde no âmbito da logística humanitária, que visa reduzir os impactos ambientais dos sistemas de fornecimento e distribuição de insumos em situações envolvendo desastres. Eles destacam como exemplo positivo o caso do navio *Tres Hombres*, que partiu da Holanda em 17 de janeiro de 2010 para entregar bens humanitários ao povo do sul do Haiti, transportando 12 toneladas de carga sem a emissão de carbono, já que funcionava apenas com energia limpa gerada por turbinas eólicas ou óleo vegetal reciclado.

De acordo com Acopio em bici (2019), nas 72 horas após o terremoto de 2017 que atingiu a Cidade do México, a operação de distribuição de alimentos, medicamentos, água e ferramentas e, até mesmo, traslado de pessoas, contou com o apoio de uma rede de ciclistas. Devido aos escombros, as bicicletas eram os veículos que conseguiam circular, com maior agilidade, levando os insumos aos locais de difícil acesso, passando por vias intransitáveis ao tráfego automotor. Além disso, por serem veículos com baixo impacto sonoro, foram fundamentais nas operações de resgate às vítimas. Desta forma, os autores concluíram que a bicicleta é um veículo com grande resiliência e que pode auxiliar as operações de logística humanitária em casos de ausência de energia, combustível e ainda ausência de vias em bom estado de circulação para veículos de maior tamanho e peso.

Patil *et al.* (2021) identificam barreiras para a sustentabilidade em operações humanitárias e recomendam sobre a necessidade de sensibilizar os doadores e a mídia em relação às práticas de doação e aos requisitos de socorro às vítimas de desastres, de construir capacidade local, de criar mecanismos de coordenação e de desenvolver um sistema de medição de desempenho que incorpore o tripé da sustentabilidade.

O gerenciamento da disposição final de resíduos é outro aspecto da logística humanitária que possui grande relevância para a garantia de sua sustentabilidade ambiental. Kargar *et al.* (2020) e Yu *et al.* (2020) abordam a questão da logística reversa dos resíduos médicos infecciosos (RMI) gerados pela pandemia da Covid-19, em que a manipulação e a disposição incorreta dos resíduos hospitalares pode ser uma fonte de disseminação do vírus. Kargar *et al.* (2020) desenvolvem um modelo de programação linear multiobjetivo para minimizar os custos totais, o risco associado ao transporte e tratamento dos RMI, e a quantidade máxima de resíduos não coletados nos centros de geração de resíduos hospitalares, e aplicam o modelo a um estudo de caso real no Irã. Já Yu *et al.* (2020) propõem um modelo de programação inteira multiobjetivo multiperíodo para o projeto de uma rede logística reversa em surtos epidêmicos, que visa determinar os melhores locais de instalações temporárias e as estratégias de transporte para o

gerenciamento eficaz do aumento exponencial de lixo hospitalar em um prazo muito curto. Eles aplicaram o modelo à cidade de Wuhan, na China, e os resultados do modelo sugeriram a instalação de incineradores temporários para o gerenciamento dos RMI durante o pico da pandemia.

A partir da revisão da literatura foi possível observar que as preocupações ambientais em operações de logística humanitária vão além da redução na emissão de poluentes. Por exemplo, no caso de pandemias e epidemias, a consideração dos efeitos ambientais do descarte de resíduos hospitalares é de extrema importância para o controle da propagação do vírus. Apesar desse trabalho não focar na modelagem ambiental, é importante destacar sua importância e uma possibilidade de continuidade de pesquisa.

2.2 Logística humanitária sob a ótica da sustentabilidade social

A incorporação da dimensão social para a sustentabilidade da logística humanitária tem o objetivo de garantir alimentação, vestuário, moradia e cuidados médicos para as pessoas afetadas por desastres (Boostani *et al.*, 2020). Os aspectos sociais da logística humanitária também podem ser analisados sob outros aspectos, como questões de gênero, sugeridas para trabalhos futuros no estudo de Shafiq e Soratana (2020), e as questões associadas aos refugiados, conforme analisado por Pascucci (2021).

Sob a ótica social, também se torna relevante a fase pós-desastre de recuperação do local afetado, objetivando a entrega para a população local de um padrão de vida igual ou melhor do que o existente antes da ocorrência do desastre. Kunz e Gold (2017), por exemplo, argumentam que um bom alinhamento entre os recursos das organizações humanitárias, as necessidades da população afetada e os fatores de contingência socioeconômicos e governamentais do local atingido é essencial para que as ações de socorro tenham desempenho sustentável na fase de reabilitação de desastres. Shafiq e Soratana (2020) defendem que as organizações humanitárias façam uma gestão enxuta (*lean management*) de sua cadeia de suprimento, de modo a economizarem tempo e recursos financeiros, possibilitando, assim, o atendimento a um maior número de pessoas nas comunidades afetadas, e gerando uma grande contribuição para a sustentabilidade social.

Boostani *et al.* (2020), por sua vez, apresentam uma modelagem estocástica multiobjetivo abordando o tripé da sustentabilidade de forma simultânea: minimizando os custos das fases de preparação e resposta da cadeia de abastecimento de alívio humanitário; maximizando o bem-estar social, por meio da maximização dos índices mínimos de satisfação entre as áreas atingidas pelo desastre; e minimizando os impactos ambientais, quais sejam, os impactos ecológicos das embalagens de produtos de socorro e as emissões de CO₂ nas rotas de transporte da rede proposta. Dentre suas conclusões, os autores destacam que a dimensão social, que focaliza uma distribuição mais justa dos insumos entre a população afetada pelo desastre, é a mais importante do modelo. Já que a quantidade de recursos de socorro disponíveis é geralmente menor do que a demanda total no momento do desastre, os autores argumentam que se uma distribuição justa não for considerada nos modelos matemáticos, alguns pontos de demanda podem ser completamente ignorados enquanto a demanda de alguns outros é totalmente atendida, o que pode colocar em risco o bem-estar das pessoas afetadas. Por isso, dentre outros aprimoramentos futuros, eles sugerem a inclusão de penalidades para a demanda não satisfeita.

Através do levantamento bibliográfico efetuado, foi possível compreender a relevância da ótica social nas operações humanitárias tanto na fase de resposta como na de recuperação pós-desastre, pois ressalta a urgência das necessidades da população afetada, contribuindo para diminuir o sofrimento humano e salvar mais vidas. Constatou-se também a possibilidade de análises quantitativas para a dimensão social a partir de modelagens matemáticas, que podem servir como ferramentas de planejamento e gerenciamento para os gestores das operações de ajuda humanitária.

2.3 Logística humanitária sob a ótica da sustentabilidade econômica

Do ponto de vista econômico, a logística humanitária relaciona-se aos custos de operação ao atendimento das vítimas, à mobilização de recursos, à recuperação econômica pós-desastre, à indenização de famílias, e à reconstrução da área afetada, dentre outros.

No âmbito da sustentabilidade econômica, nota-se o esforço de vários países em investimentos para minimizar os impactos de desastres. Connelly *et al.* (2015) argumentam que a alocação de recursos para atender necessidades humanitárias deve considerar as incertezas e os critérios de desempenho relacionados aos comportamentos da população, mudanças ambientais, tecnologias inovadoras, desgaste, regulamentações, mercados econômicos, dentre outros. Eles integraram o planejamento por meio de cenários com a análise de decisão multicritério para a priorização robusta de iniciativas de preparação para desastres na cidade do Rio de Janeiro durante os grandes eventos da Copa do Mundo e das Olimpíadas. Os autores citam ainda a Conferência de Redução de Desastres, que ocorreu em 2005, com a participação de mais de 150 nações que concordaram em reduzir significativamente os impactos sociais, econômicos e ambientais relativos a desastres.

Logo, o planejamento e os investimentos na área de gestão de desastres auxiliam fortemente nas decisões e no direcionamento de recursos para a minimização dos impactos econômicos, sociais e ambientais desses desastres. Neste contexto, observou-se que os modelos matemáticos de otimização são ferramentas importantes para a análise de destinação e distribuição do atendimento necessário às vítimas de desastres, evitando desperdícios e atendendo ao maior número de pessoas nas regiões afetadas.

3. MODELAGEM MATEMÁTICA

O modelo matemático proposto neste trabalho tem como objetivo otimizar a distribuição de suprimentos hospitalares em situações de pós-desastre, para atender de maneira mais sustentável as necessidades da demanda que se encontra em situação de vulnerabilidade. Desta forma, considerando essa operação de distribuição como parte da logística humanitária, os critérios escolhidos para definir a função objetivo do modelo se basearam nas óticas econômica e social da sustentabilidade, objetivando minimizar simultaneamente o custo operacional e o tempo total de entrega dos insumos.

A Figura 1 ilustra a cadeia de abastecimento humanitária proposta para este estudo, em que são considerados dois estágios de distribuição. O primeiro estágio é caracterizado pelo transporte dos produtos dos fornecedores aos centros de distribuição localizados nos municípios próximos à região do desastre, com veículos de maior capacidade como caminhão toco, caminhão truck e helicópteros. Já o segundo estágio, refere-se ao envio dos produtos dos centros de distribuição municipais aos hospitais localizados na área afetada, com veículos de menor capacidade como veículos urbanos de carga, vans e motocicletas.

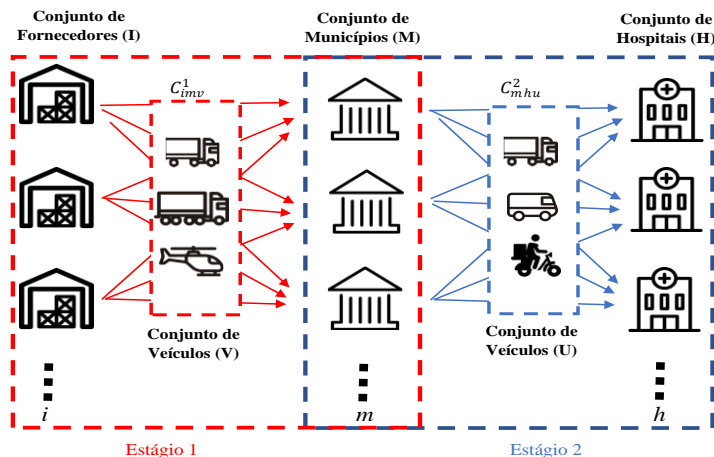


Figura 1: Cadeia de abastecimento humanitária analisada.

Fonte: Elaboração própria.

Os conjuntos, parâmetros e variáveis de decisão do modelo matemático proposto estão descritos nas Tabelas 1, 2 e 3, a seguir.

Tabela 1: Conjuntos utilizados no modelo matemático.

Notação	Descrição
I	Conjunto dos fornecedores de produtos.
M	Conjunto de municípios dos candidatos a estocar produtos nos centros de distribuição.
H	Conjunto dos hospitais que demandam produtos.
P	Conjunto dos produtos que são transportados para atendimento da demanda dos hospitais.
V	Conjunto de todos os veículos disponíveis para realizar o transporte no Estádio 1.
U	Conjunto de todos os veículos disponíveis para realizar o transporte no Estádio 2.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2: Parâmetros utilizados no modelo matemático.

Notação	Descrição
D_p^h	Demanda do hospital $h \in H$ pelo produto $p \in P$.
O_p^i	Máximo de oferta do produto $p \in P$ pelo fornecedor $i \in I$.
Q_m^{Min}	Capacidade mínima (toneladas) do município $m \in M$ para a movimentação de produtos.
Q_m^{Max}	Capacidade máxima (toneladas) do município $m \in M$ para a movimentação de produtos.
K_v^{Max}	Capacidade máxima (toneladas) do veículo $v \in V$ (disponível para realizar transporte no Estádio 1).
L_u^{Max}	Capacidade máxima (toneladas) do veículo $u \in U$ (disponível para realizar transporte no Estádio 2).
C_{imp}^1	Custo unitário de transporte de uma tonelada do produto $p \in P$ do fornecedor $i \in I$ para o município $m \in M$ com o veículo $v \in V$.
C_{mhu}^2	Custo unitário de transporte de uma tonelada do produto $p \in P$ do município $m \in M$ para o hospital $h \in H$ com o veículo $u \in U$.
CF_m	Custo fixo de armazenamento de carga para o município $m \in M$.
N_p	Custo associado à não satisfação da demanda por um produto $p \in P$.
T_{imv}^1	Tempo (minutos) para transportar o produto $p \in P$ do fornecedor $i \in I$ para o município $m \in M$ com o veículo $v \in V$.
T_{mhu}^2	Tempo (minutos) para transportar o produto $p \in P$ do município $m \in M$ para o hospital $h \in H$ com o veículo $u \in U$.
ψ	Fator de ajuste de compatibilização das ordens de grandeza das parcelas temporais na função objetivo.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3: Variáveis de decisão consideradas no modelo matemático.

Notação	Descrição
$x_{imvp}^1 \in \mathbb{R}_+$	Quantidade (toneladas) do produto $p \in P$ enviada do fornecedor $i \in I$ para o município $m \in M$ com o veículo $v \in V$.
$z_{mhup}^2 \in \mathbb{R}_+$	Quantidade (toneladas) do produto $p \in P$ enviada do município $m \in M$ para o hospital $h \in H$ com o veículo $u \in U$.
$e_p^h \in \mathbb{R}_+$	Demanda não atendida (toneladas) do produto $p \in P$ para o hospital $h \in H$.
$y_m \in \{0,1\}$	Quando $y_m = 1$, o município $m \in M$ é escolhido como centro de distribuição de produtos; caso contrário, $y_m = 0$.
$w_{imv}^1 \in \mathbb{Z}_+$	Quantidade de viagens do fornecedor $i \in I$ para o município $m \in M$ com o veículo $v \in V$.
$w_{mhu}^2 \in \mathbb{Z}_+$	Quantidade de viagens do município $m \in M$ para o hospital $h \in H$ com o veículo $u \in U$.

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez definidos os conjuntos, parâmetros e as variáveis de decisão, segue o modelo de programação linear para distribuição em operações logísticas humanitárias, proposto neste trabalho.

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{p \in P} C_{imv}^1 x_{imvp}^1 + \sum_{m \in M} \sum_{h \in H} \sum_{u \in U} \sum_{p \in P} C_{mhu}^2 z_{mhup}^2 + \sum_{m \in M} C F_m y_m \\ & + \sum_{h \in H} \sum_{p \in P} N_p e_p^h + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \psi T_{imv}^1 w_{imv}^1 + \sum_{m \in M} \sum_{h \in H} \sum_{u \in U} \psi T_{mhu}^2 w_{mhu}^2 \end{aligned} \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} x_{imvp}^1 \leq o_p^i \quad \forall i \in I, p \in P \quad (2)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{u \in U} z_{mhup}^2 + e_p^h = d_p^h \quad \forall h \in H, p \in P \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{v \in V} x_{imvp}^1 = \sum_{h \in H} \sum_{u \in U} z_{mhup}^2 \quad \forall m \in M, p \in P \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{v \in V} \sum_{p \in P} x_{imvp}^1 \leq Q_m^{\text{Máx}} y_m \quad \forall m \in M \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{v \in V} \sum_{p \in P} x_{imvp}^1 \geq Q_m^{\text{Mín}} y_m \quad \forall m \in M \quad (6)$$

$$w_{imv}^1 \geq \frac{\sum_{p \in P} x_{imvp}^1}{K_v^{\text{max}}} \quad \forall i \in I, m \in M, v \in V \quad (7)$$

$$w_{mhu}^2 \geq \frac{\sum_{p \in P} z_{mhup}^2}{L_u^{\text{max}}} \quad \forall m \in M, h \in H, u \in U \quad (8)$$

$$y_m \in \{0,1\} \quad \forall m \in M \quad (9)$$

$$e_p^h \geq 0 \quad \forall h \in H, p \in P \quad (10)$$

$$x_{imvp}^1, z_{mhup}^2, w_{imv}^1, w_{mhu}^2 \geq 0 \quad \forall i \in I, m \in M, v \in V, u \in U, p \in P \quad (11)$$

A Função Objetivo (1) é formada por seis parcelas e consiste em minimizar: o custo total de envio dos produtos no Estágio 1, o custo total de envio dos produtos no Estágio 2, o custo total de abertura do centro de distribuição nos municípios, o custo total de não atendimento da demanda, e por fim, o custo relativo ao tempo total de envio dos produtos nos Estágio 1 e 2, que foram ajustados com a aplicação da constante ψ .

A Restrição (2) diz respeito ao máximo de oferta dos fornecedores e a Restrição (3), por sua vez, está relacionada ao atendimento à demanda dos hospitais, em que e_p^h corresponde à quantidade de produto faltante, quando isso ocorre. Já a Restrição (4) garante a distribuição de todos os produtos que chegam ao centro de distribuição. As Restrições (5) e (6) tratam sobre a capacidade máxima e mínima do centro de distribuição, enquanto as Restrições (7) e (8) determinam a quantidade de viagens necessária para que se respeite a capacidade dos veículos, tanto para o Estágio 1, quanto para o Estágio 2. As Restrições (9)-(11) representam o domínio das variáveis de decisão.

4. ESTUDO DE CASO

Visando a aplicação do modelo (1)-(11) à distribuição de seis materiais essenciais (aventais, luvas, máscaras, óculos, sapatilhas e toucas) para o trabalho dos profissionais da linha de frente de combate aos casos de Covid-19 durante a Pandemia (BRASIL, 2020a), foram realizados testes com dados reais, complementados, quando necessário, com dados estimados. Para esta análise, foram escolhidos cinco municípios do estado do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Niterói, São João de Meriti e Petrópolis), considerando um recorte temporal do mês de junho de 2020 para extração dos dados, já que neste verificou-se o maior pico do número de casos registrados de Covid-19 (BRASIL, 2020b).

Os dados relativos aos fornecedores foram coletados do *website* do Governo Federal (SERPRO, 2020), em 30 de agosto de 2020, selecionando-se os produtos pertinentes ao estudo em questão e sua disponibilidade de produção mensal e entrega para o Estado do Rio de Janeiro.

Com relação ao conjunto de veículos, por construção (ver Figura 2), no Estágio 1 as distâncias percorridas e as quantidades de cargas transportadas são maiores que no Estágio 2, sendo, conseqüentemente, escolhidos veículos menores para este estágio. Os custos de transporte destes veículos foram calculados com base nos fretes mínimos disponibilizados (BRASIL, 2020c) pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Para a determinação dos custos relativos aos helicópteros, contactou-se uma empresa de táxi aéreo, e para a simulação de frete com a utilização de motocicletas, consultou-se um *website* especializado.

O conjunto de municípios foi definido de acordo com as informações disponibilizadas referentes aos leitos de UTI do Sistema Único de Saúde (SUS), que permitiu o cálculo de estimativa da demanda dos materiais transportados. Com isso, foram escolhidos os cinco municípios mais populosos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Em relação à localização dos centros de distribuição destes municípios, foram adotados os endereços da Secretaria Municipal de Saúde de cada um. Os custos de abertura e manutenção destes centros foram estimados de acordo com a área, em m^2 , de aluguel para a região, e a capacidade máxima foi estimada por levantamento aéreo e arranjo do espaço físico.

Os hospitais foram selecionados a partir dos dados de leitos disponibilizados nas Portarias

publicadas pelo Ministério da Saúde. As demandas dos hospitais situados no município do Rio de Janeiro foram estimadas proporcionalmente à quantidade de hospitalizações em leitos de UTI. Considerou-se que cada paciente receberia pelo menos duas visitas diárias de um profissional da saúde. Para os outros municípios que não tiveram dados divulgados quanto ao número de hospitalizações, as demandas foram estimadas proporcionalmente àquelas do município do Rio de Janeiro e foi aplicado um fator de correção a essa estimativa, a partir de dados reais encontrados para o município de Petrópolis (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2020; BRASIL, 2020d; Prefeitura de Niterói, 2020; Prefeitura de São João de Meriti, 2020 e Prefeitura de Petrópolis, 2020). As distâncias e os tempos de viagem foram coletados através da ferramenta Google API. No caso do transporte aéreo, esta distância foi medida em linha reta de um ponto a outro e o tempo de viagem posteriormente calculado. Os dados coletados foram organizados em planilhas Excel® e o modelo matemático foi implementado no ambiente Xpress-IVE® 8.12, utilizando a ferramenta Xpress Mosel® 5.6.0.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Destaca-se que ao se tratar de ajuda humanitária, ações não coordenadas em questões de suprimentos, recursos monetários e pessoas, geram ineficiência e imprecisão em seus fluxos. O objetivo da modelagem proposta nesse artigo foi organizar a distribuição de insumos hospitalares para uma ação humanitária menos dispendiosa e com maior eficiência operacional, visando a sustentabilidade econômica e social.

Como o enfoque desse trabalho é na logística de distribuição dos insumos hospitalares como aventais, luvas, máscaras, óculos, sapatilhas e toucas, a parte econômica da função objetivo do modelo focou nos custos logísticos de transporte desses produtos e nos custos de abertura de centros de distribuição nos municípios. Já para a construção da abordagem social, o foco foi realizar a operação logística de distribuição no menor tempo possível e com a máxima cobertura, ou seja, buscou-se entregar os produtos o mais rápido possível atendendo ao máximo a demanda de cada hospital.

Assim, conceitualmente, o modelo cumpriu com os pilares econômico e social da sustentabilidade, na medida em que propôs uma frota para distribuição que minimizou o custo operacional e o tempo de entrega totais da operação, cobrindo o máximo possível das demandas dos hospitais. Importante destacar que não significa que a demanda dos hospitais foi integralmente satisfeita, pois a oferta de produtos era menor que a demanda necessária, situação passível de ocorrer em cenários pós-desastre, em que a demanda por produtos costuma subir rapidamente e o mercado não está preparado para supri-la.

A partir das informações extraídas na coleta de dados, foram realizados testes e ajustes no modelo para encontrar os melhores parâmetros de forma a se obter uma distribuição de suprimentos mais sustentável econômica e socialmente, em que só haveria falta de produtos na demanda caso não tivesse disponibilidade na oferta. Desta forma, as análises e ajustes realizados levaram aos resultados demonstrados na Tabela 4.

Para a análise social dos resultados, destaca-se o custo pela não cobertura da demanda que representa a maior porcentagem do custo total (53,95%), demonstrando a relevância que a ótica social possui na logística humanitária. Nessa análise social dos resultados, destacam-se também as parcelas relativas ao tempo de entrega nos Estágios 1 e 2, que representam 29,3% do custo total. Esse percentual também corrobora para a relevância da ótica social, pois é o segundo

percentual de valor mais expressivo. Essas parcelas do tempo total são determinantes para que os insumos estejam disponíveis em local e quantidade adequada no menor prazo, a fim de minimizar novos contágios e o espraiamento do vírus.

Tabela 4: Resultados das parcelas e sua representatividade sob o total.

Parcelas da função objetivo	Custo	Percentual	Ótica sustentável
Custo total de transporte – Estágio 1	R\$1.256,92	4,37%	Econômica (16,74%)
Custo total de transporte – Estágio 2	R\$1.778,10	6,18%	
Custo fixo dos centros de distribuição	R\$1.782,00	6,19%	
Custo pela não cobertura da demanda	R\$15.520,00	53,95 %	Social (83,25%)
Custo relativo ao tempo de entrega – Estágio 1	R\$5.935,00	20,63 %	
Custo relativo ao tempo de entrega – Estágio 2	R\$2.495,00	8,67%	
CUSTO TOTAL	R\$28.767,02	100,00%	100,00%

Fonte: Elaboração própria.

Já a análise econômica dos resultados é pautada nos custos operacionais da logística, ou seja, nos custos totais de transportes nos Estágios 1 e 2, que somam 10,55% dos custos totais, e nos custos de abertura de centros de distribuição, que representam 6,19% do total.

É possível notar uma grande diferença percentual entre as parcelas relativas ao viés social (83,25%) e econômico (16,74%). A justificativa se baseia principalmente no fato de que em abordagens humanitárias há uma necessidade de se dar maior peso às parcelas sociais da função objetivo da modelagem matemática, devido à importância de se cumprir o direito social à vida e à saúde. Já em outras situações de logística, como a empresarial, por exemplo, os custos de transporte são os mais representativos pois não há a preocupação social, o principal objetivo é o lucro, ou seja, as parcelas econômicas são as mais expressivas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se um aumento no número de desastres nas últimas décadas no planeta e, por isso, aumenta a necessidade de desenvolvimento de técnicas que auxiliem à tomada decisão associada à logística humanitária para melhor atendimento e destinação de recursos a áreas atingidas por estes desastres. Neste contexto, a Pesquisa Operacional torna-se uma aliada na oferta de respostas mais eficientes e sustentáveis para a tomada de decisão.

Considerando a importância da logística humanitária e das ferramentas computacionais para o sucesso de operações de resposta a desastres, este artigo propõe um modelo matemático para otimizar a distribuição sustentável de suprimentos hospitalares no cenário atual da pandemia da Covid-19, com foco nos vieses econômico e social da sustentabilidade. Para os testes e ajustes, foram utilizados dados do contexto atual de pandemia da Covid-19, e os resultados apontaram grande relevância do caráter social frente aos aspectos econômicos.

Para uma análise sustentável mais completa e robusta, faz-se necessária a incorporação de questões ambientais ao modelo matemático. Portanto, como sugestões para trabalhos futuros, indicam-se: (i) a inclusão de veículos ambientalmente mais sustentáveis, como a bicicleta para o transporte da última milha; (ii) ajustes no modelo para otimizar tanto o dimensionamento da frota quanto a rota dos veículos, com o objetivo de contribuir para redução das poluições sonoras e atmosféricas; e (iii) a consideração dos efeitos ambientais do descarte de resíduos hospitalares em casos de epidemias e pandemias. Nestes casos, sugere-se uma análise multiobjetivo para o modelo matemático, a fim de se analisar propriamente todos os *trade-offs* envolvidos nos distintos objetivos e seus impactos no tempo e custo da operação logística.

Por fim, vale ressaltar que o tipo de modelagem proposta neste trabalho pode ser utilizado em outros cenários envolvendo a logística humanitária, tais como catástrofes naturais e situações envolvendo conflitos armados e refugiados.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES). Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) por meio das bolsas de Produtividade em Pesquisa #309661/2019-6 e #307835/2017-0, e pela Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), por meio da bolsa Cientista do Nosso Estado #233926.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acopio in bici (2019) Bicisismo - Manual de Voluntarios en bicicleta. Disponível em: https://issuu.com/elsoldemexico/docs/bicisismo_guia_voluntariox_en_bici. Acesso em 15 de jul. de 2021.
- Boonmee, C.; M. Arimura, e T. Asada (2017) Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 24, p. 485-498. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.01.017>.
- Boostani, A.; F. Jolai e A. Bozorgi-Amiri (2020) Designing a sustainable humanitarian relief logistics model in pre- and postdisaster management. *International Journal of Sustainable Transportation*, v. 15, n. 8, p. 604-620, <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1773975>.
- BRASIL, Ministério da Infraestrutura/Agência Nacional de Transportes Terrestres/Diretoria Colegiada (2020c) Coeficientes dos Pisos Mínimos de Transporte Rodoviário de Carga. Resolução Nº 5.890, de 26 de maio de 2020. Diário Oficial da União. Publicado em: 27/05/2020 Edição: 100 Seção: 1 Página: 160. Disponível em: [Página 160 do Diário Oficial da União - Seção 1, número 100, de 27/05/2020 - Imprensa Nacional](https://www.infrapnet.gov.br/portal/ver-publicacao/160-do-diario-oficial-da-uniao-secao-1-numero-100-de-27-05-2020-imprensa-nacional). Acesso em: 27 jun. de 2021.
- BRASIL, Ministério da Saúde (2020a) Covid-19 Equipamentos de proteção individual EPIs. Disponível em: https://viz.saude.gov.br/extensions/DEMÁS_C19Insumos_EPI/DEMÁS_C19Insumos_EPI.html. Acesso em: 27 jun. de 2021.
- BRASIL, Ministério da Saúde (2020b) Acompanhamento de Casos e Óbitos Covid-19 no Brasil. Secretarias Estaduais de Saúde. Disponível em: https://susanalitico.saude.gov.br/extensions/covid-19_html/covid-19_html.html. Acesso em: 27 jun. de 2021.
- BRASIL, Ministério da Saúde, (2020d). Acompanhamento de Casos e Óbitos Covid-19 no Brasil. Secretarias Estaduais de Saúde. Disponível em: https://susanalitico.saude.gov.br/extensions/covid-19_html/covid-19_html.html. Acesso em: 18 de dezembro de 2020.
- Connelly, E. B.; J. H. Lambert e S. A. Thekdi (2016) Robust Investments in Humanitarian Logistics and Supply Chains for Disaster Resilience and Sustainable Communities. *Natural Hazards Review*, v. 17, n.1, p. 04015017, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000187](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000187)
- Costa, S. R. A. et al (2015) Cadeia de suprimentos humanitária: uma análise dos processos de atuação em desastres naturais. *Production*, v. 25, n. 4, p. 876-893, out./dez. 2015 doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.147513>
- EM-DAT. (2019). The International Disaster Database [online]. Disponível em: <https://public.emdat.be/>Acesso em: 27 jun. de 2021 a
- Gonçalves, M. B. e F. S. Lima (2018) A Logística Humanitária no contexto da pesquisa, ensino e extensão universitária. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 7, n. esp., p. 19-3. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e0201819-30>.
- Huang, K., Jiang, Y., Yuan, Y. e Zhao, L. (2015) Modeling multiple humanitarian objectives in emergency response to large-scale disasters. *Transportation Research Part E*, 75 pp1-17. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.11.007>
- Jilani, A.; Y. Ali e M. Kha (2018) Greening of humanitarian supply chain with focus on logistics. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, v. 10, n. 1, p. 49-6. <https://doi.org/10.1504/IJBPSM.2018.093319>.
- Kargar, S.; M. Pourmehdi e M. M. Paydar (2020) Reverse logistics network design for medical waste management in the epidemic outbreak of the novel coronavirus (Covid-19). *Science of the Total Environment*, v. 746, p. 141183. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141183>.
- Kunz, N.; e S. Gold, (2015). Sustainable humanitarian supply chain management – exploring new theory. *International Journal of Logistics Research and Applications*, v. 20, n.2, p. 85-104. <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1103845>.

- Maculan, N. e L. Bahiense (2021) Pesquisa Operacional em Época de Conflitos Armados, Pandemias e Catástrofes Naturais. *Pesquisa Operacional Para O Desenvolvimento*, v. 13, p. 1–9. <https://doi.org/10.4322/PODes.2021.001>.
- Marinho, F.; P. Munar; A. Moreno e D. Alem (2018) Uma ferramenta baseada em otimização para apoiar decisões de preparação e resposta em logística humanitária. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento* vol. 10, n. 2, p. 70-92. <https://doi.org/10.4322/PODes.2018.006>.
- Organização das Nações Unidas (2021). Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/06/1754062>. Acesso em 11 ago. de 2021.
- Organização Mundial da Saúde (2021). Disponível em: <https://covid19.who.int/>. Acesso em 27 jun. de 2021.
- Pascucci, E. (2021). More logistics, less aid: humanitarian-business partnerships and sustainability in the refugee camp. *World Development*, v. 142, p. 105424. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105424>.
- Patil, A.; V. Shardeo; A. Dwivedi; J. Madaan e N. Varma (2021) Barriers to sustainability in humanitarian medical supply chains. *Sustainable Production and Consumption*, v. 27, p. 1794-1807. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.04.022>.
- Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (2020). Painel Rio Covid-19. Disponível em: <https://experience.arcgis.com/experience/38efc69f787a346959c931568bd9e2cc4>. Acesso em: 27 jun. de 2021.
- Prefeitura de Niterói (2020). Acompanhamento dos Casos de Coronavírus (COVID19) Niterói. Disponível em: <https://experience.arcgis.com/experience/305269f3cdd24839b263c5ab346e1aa7> Acesso em: 18 de dezembro de 2020
- Prefeitura de Petrópolis (2020). Painel de indicadores para análise da pandemia de Covid-19. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZDZkZWwMjMyMjEtNDIiNS00ODhiLThiNWMTzjYxMjY5M-Tc3NTg1IiwidCI6IjM0ZGVkMjVklWYwZDktNDFlZS04MWNiLTRhMTNjNGMxODViNiJ9> Acesso em: 18 de dezembro de 2020.
- Prefeitura de São João de Meriti (2020). Meriti contra o coronavírus. Disponível em: <http://meriti.rj.gov.br/covid/dist/index.php>. Acesso em: 18 de dezembro de 2020
- Scholz, J. F. e A. A. Karl (2020). A Contribuição das Práticas Sustentáveis na Logística Humanitária em catástrofes ambientais no Direito Ambiental Internacional. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, v. 17, n. 3 p. 109-132. <https://doi.org/10.25112/rgd.v17i3.2176>.
- SERPRO. Dados Fornecedores Covid-19. Disponível em: [PesquisarFornecedor \(serpro.gov.br\)](https://serpro.gov.br/PesquisarFornecedor) Acesso em 27 de jun. de 2021.
- Shafiq, M. e K. Soratana (2020) Lean readiness assessment model – a tool for Humanitarian Organizations’ social and economic sustainability. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, v. 10, n. 2, p. 77-99. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-01-2019-0002>.
- Thomas, A. e M. Mizushima (2005). Logistics training: Necessity or luxury. *Forced Migration Review*, 22(22), 60–61. Disponível em: <https://www.fmreview.org/sites/fmr/files/FMRdownloads/en/education-emergencies/thomas-mizushima.pdf>
- Thomas, A.S. (2003) Humanitarian Logistics: Enabling Disaster Response. Fritz Institute. Disponível em: <http://www.fritzinstitute.org/pdfs/whitepaper/enablingdisasterresponse.pdf>. Acesso em: 27 jun. de 2021.
- Thompson, D. D. P. e R. Anderson (2021) The COVID-19 response: considerations for future humanitarian supply chain and logistics management research. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-01-2021-0006>
- Tofighi, S.; S. A. Torabi, e S. A. Mansouri (2015) Humanitarian logistics net-work design under mixed uncertainty, *European Journal of Operational Research*, v. 250, n. 1, p. 239-250. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.059>.
- UNISDR. International Strategy for Disaster Reduction (2015) Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030, p. 1-37. Disponível em: https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.
- Yu, H.; X. Sun; W. D. Solvang e X. Zhao (2020) Reverse Logistics Network Design for Effective Management of Medical Waste in Epidemic Outbreaks: Insights from the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in Wuhan (China). *International Journal Environmental Research Public Health*, v. 17, n.5, p. 1770. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051770>.

Priscila Damasio (prisciladamasio@pet.coppe.ufrj.br)

Isabella M. A. da Hora (isabelladahora@pet.coppe.ufrj.br)

Laura Bahiense (laura@pet.coppe.ufrj.br)

Programa de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro