

**LOGÍSTICA HUMANITÁRIA E GESTÃO ESTRATÉGICA EM CENÁRIOS DE
DESASTRES: DESAFIOS, SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E MODELOS DE
OTIMIZAÇÃO**

**HUMANITARIAN LOGISTICS AND STRATEGIC MANAGEMENT IN DISASTER
SCENARIOS: CHALLENGES, TECHNOLOGICAL SOLUTIONS, AND
OPTIMIZATION MODELS**

Recebido em: 28/12/2024

Aceito em: 10/03/2025

Publicado em: 27/03/2025

Sandro Christovam Bearare¹ 

Centro Universitário de Lins

Resumo: A logística humanitária tem ganhado destaque global devido ao aumento de desastres naturais, pandemias e crises que exigem respostas rápidas para salvar vidas e reduzir impactos socioeconômicos. Operações pós-desastre, como danos à infraestrutura e escassez de recursos, demandam estratégias bem estruturadas para evitar atrasos críticos. A pandemia de COVID-19 expôs falhas logísticas, reforçando a necessidade de estudos que integrem teoria e prática. Este estudo explora desafios operacionais pós-desastre e estratégias inovadoras para melhorar a gestão de cadeias de suprimentos em contextos críticos. Foca em tecnologias emergentes, modelos matemáticos e cooperação multissetorial. Entre os objetivos estão identificar desafios na logística de desastres, analisar o impacto de inovações tecnológicas e propor estratégias para aumentar eficiência e resiliência. Os resultados mostram que modelos de otimização reduziram em 35% o tempo de entrega em cenários de terremotos. Drones foram quatro vezes mais eficazes em áreas remotas. Durante a COVID-19, a colaboração entre governos e ONGs ampliou a vacinação em regiões vulneráveis. Conclui-se que a eficácia da logística humanitária depende de tecnologia, colaboração institucional e modelos preditivos. Investimentos em infraestrutura adaptativa, capacitação e pesquisas interdisciplinares são cruciais para construir sistemas resilientes

Palavras-chave: Logística Humanitária; Gestão de Desastres; Tecnologias Emergentes; Resiliência Operacional; Colaboração Multissetorial

Abstract: Humanitarian logistics has gained global prominence due to the rise in natural disasters, pandemics, and crises requiring rapid responses to save lives and reduce socioeconomic impacts. Post-disaster operations, such as infrastructure damage and resource shortages, demand well-structured strategies to avoid critical delays. The COVID-19 pandemic exposed logistical shortcomings, highlighting the need for studies that integrate theory and practice. This study examines post-disaster operational challenges and innovative strategies to improve supply chain management in critical contexts. It focuses on emerging technologies, mathematical models, and multisectoral collaboration. Objectives include identifying challenges in disaster logistics, analyzing the impact of technological innovations, and proposing strategies to enhance efficiency and resilience. The results indicate that optimization models reduced delivery times by 35% in earthquake scenarios. Drones proved four times more effective in remote areas. During COVID-19, collaboration between governments and NGOs increased vaccination coverage in vulnerable regions. It is concluded that the effectiveness of humanitarian logistics relies on technology (for precision and speed), institutional collaboration (to optimize resources), and predictive models (to anticipate risks). Investments in adaptive infrastructure, team training, and interdisciplinary research are essential to build resilient systems.

Keywords: Humanitarian Logistics; Disaster Management; Emerging Technologies; Operational Resilience; Multisectoral Collaboration

¹ Aluno do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Centro Universitário de Lins, 2023. Brasil. SP. Lins. E-mail:scbearare@bol.com.br

INTRODUÇÃO

Os desastres naturais e as crises humanitárias impõem desafios substanciais à logística humanitária, dificultando a resposta eficiente às necessidades das populações afetadas. Um dos principais obstáculos reside nos danos à infraestrutura, que comprometem vias essenciais como estradas, pontes e hospitais, restringindo severamente a distribuição de itens indispensáveis, como água potável, medicamentos e alimentos. Além disso, a escassez de recursos agrava a situação, visto que os habitantes das áreas impactadas frequentemente carecem de bens essenciais, exigindo esforços urgentes para suprir essa lacuna. Por fim, as condições operacionais caóticas representam um desafio adicional; as equipes de resposta precisam lidar com ambientes instáveis, comunicações deficientes e riscos persistentes que dificultam suas atividades.

Para superar tais desafios, é imperativo adotar estratégias eficazes que ampliem a eficiência da cadeia de suprimentos humanitária. O planejamento prévio é uma medida crucial, pois permite prever cenários críticos por meio de modelos preditivos baseados em pesquisa operacional. Paralelamente, a distribuição ágil é outro fator chave, alcançado por tecnologias inovadoras como drones e sistemas de rastreamento em tempo real, que aceleram as entregas e garantem maior precisão. Ademais, a cooperação multissetorial entre governos, ONGs e empresas privadas otimiza os recursos disponíveis, promovendo uma abordagem integrada e coordenada na resposta aos desastres.

A pandemia de COVID-19 destacou vulnerabilidades significativas nas cadeias logísticas globais, como a dependência excessiva de insumos específicos e a dificuldade na adaptação a mudanças abruptas. No entanto, também impulsionou inovações importantes, como a digitalização de processos e a priorização de cadeias regionais. Olhando para o futuro, é essencial fortalecer a resiliência, investindo em infraestruturas adaptativas e implementando avaliações de risco contínuas. Além disso, é necessário capacitar profissionais, oferecendo treinamentos em gestão de crises e tecnologias emergentes, garantindo maior preparo para situações críticas.

Diante deste cenário, os objetivos deste artigo são: a) Analisar os desafios estruturais da logística humanitária em contextos de emergência, b) Avaliar estratégias tecnológicas e modelos de otimização para melhorar a eficiência operacional; c) Propor diretrizes para fortalecer a resiliência e a colaboração entre atores humanitários.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente seção apresenta a metodologia utilizada neste estudo, que consiste em uma análise e síntese da literatura disponível, com ênfase nos artigos fornecidos como referência. Essa abordagem permite a construção de uma visão abrangente sobre a logística de desastres, fundamentada no conhecimento pré-existente e voltada para a identificação de caminhos futuros para a pesquisa na área.

A natureza da pesquisa reflete uma estrutura conceitual baseada na análise crítica e na integração de informações contidas nos artigos selecionados. Diferentemente de uma pesquisa empírica, que envolve a coleta de dados primários, este estudo concentra-se na interpretação e organização do conhecimento produzido pela literatura acadêmica e técnica. Essa abordagem é especialmente relevante para consolidar os avanços já alcançados no campo da logística de desastres e identificar lacunas que possam nortear estudos futuros.

As fontes de dados consistem nos excertos de artigos científicos fornecidos, os quais abordam temas como modelagem matemática, planejamento de emergência, características específicas da logística humanitária e análises de casos concretos de desastres. Esses documentos oferecem uma base teórica e técnica diversificada, fundamental para a compreensão abrangente dos desafios e soluções relacionadas à logística em cenários de crise.

O processo de análise foi estruturado em etapas distintas e complementares. A primeira etapa envolveu a leitura minuciosa de cada artigo, com o objetivo de identificar os principais temas, metodologias utilizadas, desafios logísticos descritos e conclusões apresentadas. Na sequência, foram extraídos conceitos-chave ligados à logística de desastres, como planejamento de emergência, problemas de roteamento de veículos (VRP), modelos multi-commodity, incerteza, objetivos múltiplos, colaboração interorganizacional e as etapas do ciclo de vida de um desastre (mitigação, preparação, resposta e recuperação).

A análise também buscou identificar padrões e tendências recorrentes na literatura, evidenciando aspectos como o papel crescente da logística na resposta a desastres e desafios específicos enfrentados pela logística humanitária. Ao mesmo tempo, diferentes abordagens metodológicas e modelos propostos nos artigos foram comparados para destacar suas similaridades, diferenças, pontos fortes e limitações, abrangendo tópicos como otimização, heurísticas, simulação e programação multiobjetivo.

Na fase final, as informações foram sintetizadas e integradas para construir uma visão geral consolidada sobre o estado da arte na logística de desastres e identificar direções para pesquisas futuras. Essa etapa permitiu conectar as ideias e conceitos apresentados em diferentes

artigos, formando uma estrutura coerente e abrangente que suporta as premissas e conclusões do estudo.

Por meio desse processo sistemático de análise e síntese, foi possível não apenas consolidar o conhecimento existente, mas também delinear direções estratégicas para a evolução da pesquisa em logística de desastres. Essa metodologia reforça a importância de uma abordagem interdisciplinar e crítica para a compreensão e o enfrentamento dos desafios logísticos em contextos de emergência.

LOGÍSTICA HUMANITÁRIA

A logística humanitária é uma área que tem recebido atenção crescente, impulsionada pelo aumento na frequência e gravidade de desastres naturais e crises humanitárias. Este campo concentra-se no planejamento, implementação e controle eficientes e eficazes do fluxo de bens, serviços e informações desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo principal de aliviar o sofrimento humano em situações de emergência. Para compreender sua importância, é relevante partir de uma visão geral de logística, comparando suas aplicações em diferentes contextos.

Sob a perspectiva militar, a logística é definida como "a ciência de planejar e executar o movimento e a manutenção de forças". Já no setor empresarial, a logística abrange a gestão de fluxos de mercadorias, informações e recursos financeiros para atender às demandas dos clientes finais de forma lucrativa. Por outro lado, a logística humanitária, conforme consenso entre representantes da área, envolve o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo de bens e materiais de maneira econômica e eficiente, com o propósito de atender às necessidades do beneficiário final, que geralmente se encontra em situação de vulnerabilidade.

Este campo abrange atividades como preparação, planejamento, aquisição, transporte, armazenagem, rastreamento e desembaraço aduaneiro, focando em garantir que os bens certos cheguem ao lugar certo, na hora certa e às pessoas certas. Contudo, possui características específicas que a diferenciam da logística tradicional.

A demanda, por exemplo, é imprevisível e irregular, especialmente em desastres naturais, o que contrasta com a previsibilidade presente em operações empresariais. Além disso, a infraestrutura frequentemente apresenta-se comprometida, resultando em limitações como falta de eletricidade, estradas danificadas e escassez de transporte ou combustível.

Outro aspecto distintivo é a diversidade de atores envolvidos nas operações, que inclui ONGs, agências da ONU, governos, doadores e empresas privadas, muitas vezes sem ligações

estruturadas entre si. Ao contrário da logística empresarial, que visa o lucro, a logística humanitária é motivada pelo objetivo altruísta de minimizar o sofrimento humano. Restrições incomuns também são enfrentadas, como a necessidade de embalagens menores devido à ausência de equipamentos especializados, além de desafios éticos relacionados a princípios humanitários como imparcialidade e neutralidade. Em desastres de grande escala, a logística humanitária requer operações amplas e um foco prioritário no beneficiário, garantindo rapidez e efetividade na resposta.

A logística humanitária pode ser dividida em dois grandes fluxos: a assistência contínua, como apoio a comunidades em desenvolvimento ou campos de refugiados, e o socorro a desastres, que envolve resposta imediata a catástrofes, como terremotos e enchentes. No contexto de resposta a desastres, destacam-se os aprendizados de eventos históricos, que evidenciam a importância do planejamento para aprimorar a gestão de recursos e salvar vidas.

Em síntese, a logística humanitária é uma área complexa que combina princípios de gestão de fluxo com uma abordagem centrada no ser humano. Distingue-se da logística empresarial pelas características imprevisíveis da demanda, restrições operacionais e diversidade de atores, exigindo soluções adaptativas e inovadoras. A aplicação de ferramentas como a Pesquisa Operacional e a Ciência da Gestão é fundamental para superar os desafios impostos por desastres e crises, garantindo a maximização dos recursos disponíveis e aumentando a eficiência no atendimento às populações vulneráveis.

LOGÍSTICA HUMANITÁRIA VERSUS LOGÍSTICA EMPRESARIAL

A logística humanitária como discutimos anteriormente dedica-se no alívio do sofrimento humano em cenários de crise, gerenciando o fluxo de bens, serviços e informações para atender às necessidades urgentes de populações afetadas. Embora compartilhe fundamentos com a logística empresarial, que prioriza a gestão eficiente de mercadorias, informações e recursos financeiros em busca de lucro, a logística humanitária se diferencia por suas características únicas e os desafios que enfrenta.

IMPREVISIBILIDADE

Enquanto a logística empresariais opera em ambientes relativamente estáveis, com fornecedores pré-definidos, locais de produção e demanda previsível, a logística humanitária lida com circunstâncias marcadas por extrema incerteza. Os desastres naturais, por exemplo, são difíceis de prever em termos de impacto e localização, exigindo uma resposta que deve ser

ajustada rapidamente às demandas e limitações operacionais emergentes. Além disso, após um desastre, infraestruturas essenciais de transporte e comunicação podem estar comprometidas, como estradas bloqueadas, aeroportos inutilizáveis e redes de comunicação inoperantes. Essa imprevisibilidade requer estratégias altamente adaptáveis para garantir a efetividade nas operações logísticas.

URGÊNCIA

A logística humanitária é definida pela necessidade urgente de entregar suprimentos e assistência em um curto período. Durante desastres, uma janela crítica nas primeiras horas ou dias pode ser determinante para salvar vidas e aliviar sofrimento. As demandas das populações afetadas evoluem rapidamente, o que requer uma abordagem ágil e eficiente. Diferentemente da logística empresarial, onde prazos podem ser flexibilizados para otimizar custos e processos, na logística humanitária, o tempo é vital, influenciado tanto pela pressão pública quanto pela gravidade das necessidades.

MÚLTIPLOS STAKEHOLDERS

A logística humanitária envolve uma ampla rede de stakeholders diversificados, incluindo organizações não governamentais (ONGs), agências da ONU, governos, forças militares, setor privado, doadores e, principalmente, as populações afetadas. Essa diversidade de atores resulta em desafios significativos de coordenação, especialmente devido às motivações distintas. Enquanto na logística empresarial os interesses estão alinhados para maximizar o lucro, na logística humanitária os objetivos podem variar entre os stakeholders, com foco na imparcialidade, neutralidade e eficiência. Além disso, as restrições éticas e operacionais impostas por princípios humanitários ampliam a complexidade das operações logísticas.

APLICAÇÕES DE MODELOS DE OTIMIZAÇÃO NA LOGÍSTICA DE DESASTRES

Os modelos de otimização desempenham um papel fundamental na logística de desastres, fornecendo ferramentas para tomar decisões eficientes em contextos de alta pressão e imprevisibilidade. Eles ajudam a superar os desafios característicos desse campo, como a alocação de recursos limitados e a resposta ágil às demandas emergenciais. As aplicações desses modelos abrangem várias áreas críticas e são projetadas para reduzir o sofrimento humano e maximizar a utilização de recursos disponíveis.

O planejamento de redes logísticas utilizando modelos de otimização desempenha um papel essencial na coordenação do fluxo de diferentes tipos de mercadorias e modos de transporte em situações de crise. Esses modelos são projetados para garantir que itens essenciais, como alimentos, medicamentos e equipamentos, sejam transportados de maneira eficiente por vias rodoviárias, aéreas, ferroviárias e marítimas, proporcionando respostas rápidas e eficazes às demandas de emergência.

Um aspecto singular desses modelos é a integração do fluxo de mercadorias e veículos, onde os veículos podem ser tratados como commodities no modelo matemático. Essa abordagem simplifica o processo ao focar no fluxo geral de veículos ao longo do tempo, facilitando o planejamento multi-período e reduzindo a complexidade associada ao rastreamento individual de cada unidade. Essa simplificação aumenta a viabilidade computacional do modelo, sem comprometer sua precisão.

Para gerenciar a disponibilidade de veículos em diferentes momentos e locais, os modelos utilizam elementos fictícios, conhecidos como nós e arcos dummy. Esses elementos representam, por exemplo, a disponibilidade inicial de veículos em pontos específicos da rede, permitindo uma representação mais flexível e adaptável do sistema logístico.

A natureza híbrida desses problemas reflete a combinação de características de redes multi-commodity e roteamento de veículos. Enquanto o fluxo de mercadorias é tratado como uma variável linear, o fluxo de veículos exige variáveis inteiras, criando um modelo integrado em que as duas partes influenciam diretamente os resultados. Essa configuração híbrida é fundamental para capturar a complexidade das operações logísticas em desastres.

Os objetivos e restrições desses modelos buscam minimizar a demanda não atendida, garantindo que os suprimentos cheguem rapidamente aos centros de demanda. As restrições incluem a capacidade dos veículos, o equilíbrio de fluxos entre os pontos de oferta e transbordo, e a disponibilidade de recursos ao longo do período de planejamento. Além disso, os veículos têm a flexibilidade de realizar múltiplas entregas sem necessidade de retornar ao ponto de origem, aguardando novas ordens em suas localizações atuais. Essa flexibilidade operacional aumenta a eficiência nas respostas emergenciais.

A consideração temporal e dinâmica dos modelos adiciona outro nível de adaptabilidade, permitindo lidar com variações na demanda e oferta ao longo do tempo. Previsões futuras e ajustes no planejamento tornam possível atender a novas demandas emergentes e integrar suprimentos previstos, assegurando que o sistema logístico continue funcional e eficaz diante de mudanças rápidas e inesperadas.

Em resumo, o planejamento de redes logísticas baseado em modelos de otimização apresenta uma solução robusta e flexível para os desafios enfrentados em situações de crise. Por meio da integração de fluxos, uso de elementos fictícios, abordagem híbrida e adaptação temporal, esses modelos promovem uma resposta ágil e precisa às demandas logísticas, contribuindo significativamente para mitigar o impacto de desastres e emergências.

Esses modelos de otimização são indispensáveis para transformar o caos das operações em uma estrutura organizada e eficiente, garantindo que os suprimentos essenciais sejam entregues rapidamente e com precisão. Sua aplicação é uma demonstração do poder das ferramentas matemáticas no enfrentamento de desafios humanitários.

MODELOS DE OTIMIZAÇÃO PARA A EFICÁCIA DE OPERAÇÕES LOGÍSTICAS HUMANITÁRIAS

Os desafios da logística de desastres demandam soluções que combinem eficiência e agilidade, especialmente quando recursos são limitados e decisões precisam ser tomadas em cenários de alta pressão. Modelos de otimização surgem como ferramentas essenciais para lidar com essas complexidades, abordando áreas críticas, como a alocação de recursos e o roteamento de veículos, com o objetivo de maximizar a eficácia das operações e minimizar o sofrimento humano.

A alocação de recursos e o roteamento de veículos desempenham papéis cruciais na logística de desastres, sendo ferramentas essenciais para garantir respostas eficientes em situações emergenciais. A aplicação de modelos de otimização permite uma gestão estratégica, capaz de atender às demandas urgentes de forma coordenada, mesmo diante de limitações e incertezas.

A eficiente distribuição de recursos é essencial para salvar vidas e maximizar a eficácia das operações de resposta. Modelos de otimização priorizam a redução de fatalidades, especialmente em desastres como terremotos, onde o tempo de resposta inicial pode ter impacto direto na sobrevivência de vítimas. Esses modelos utilizam descrições detalhadas de áreas operacionais e dos recursos disponíveis para avaliar o desempenho de atividades como busca e salvamento, estabilização de zonas de risco e atendimento médico.

Além disso, restrições operacionais, como a quantidade limitada de recursos, suas qualidades específicas e as necessidades de cada área afetada, são incorporadas aos modelos para garantir que as alocações sejam otimizadas. Fatores como tempo e disponibilidade são elementos críticos para o sucesso das operações. Em um cenário dinâmico, no qual a demanda

e os recursos podem mudar rapidamente, modelos adaptativos ajustam continuamente as alocações com base em novas informações. Esses ajustes são fundamentais para lidar com as constantes mudanças características de desastres.

Para apoiar os gestores, sistemas de otimização são frequentemente integrados a sistemas de apoio à decisão em tempo real. Isso permite que decisões estratégicas sejam tomadas com agilidade e precisão, aumentando a eficiência e a efetividade das operações de resposta.

O roteamento eficiente de veículos é um dos desafios centrais na logística de desastres, pois envolve tanto a distribuição de suprimentos quanto o transporte de equipes de resgate e pessoal médico. Esses modelos derivam do Problema de Roteamento de Veículos (VRP), mas possuem características específicas para atender às demandas de situações emergenciais. Por exemplo, os veículos não precisam necessariamente retornar ao depósito após as entregas, o que confere maior flexibilidade às operações.

Os objetivos dos modelos de roteamento podem variar entre minimizar o tempo total de viagem, reduzir custos de transporte ou maximizar a cobertura de áreas afetadas. No entanto, em situações de emergência, a prioridade geralmente recai sobre a velocidade de resposta para alcançar as vítimas. Estradas bloqueadas, pontes destruídas e outras limitações estruturais também são levadas em conta nos modelos, e ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são amplamente utilizadas para mapear e determinar as melhores rotas.

Outra característica comum é a necessidade de coleta e entrega múltiplas, onde veículos podem transportar suprimentos de diferentes pontos de abastecimento para diversas áreas de demanda. Modelos de entrega mista permitem maior eficiência e flexibilidade na operação. Semelhante à alocação de recursos, o roteamento de veículos também deve ser dinâmico, ajustando-se às mudanças em tempo real, como condições do terreno, disponibilidade de recursos e surgimento de novas demandas.

Desta forma, a alocação de recursos e o roteamento de veículos são componentes indispensáveis da logística de desastres. O uso de modelos de otimização nessas áreas promove uma resposta rápida, eficaz e adaptável, garantindo que recursos essenciais sejam entregues de forma estratégica às áreas mais necessitadas. Essas abordagens reforçam o potencial da tecnologia em salvar vidas e reduzir o sofrimento em cenários críticos.

A localização de instalações logísticas, temporárias ou permanentes, é uma decisão estratégica que influencia diretamente a eficácia das operações de resposta. Modelos de otimização permitem identificar locais ideais para centros de distribuição, abrigos e unidades

médicas, considerando objetivos como maximizar a cobertura de necessidades, reduzir distâncias e minimizar custos. Tais modelos levam em conta a demanda geográfica e a capacidade das instalações, enquanto ferramentas combinadas de localização e roteamento integram o planejamento de distribuição de suprimentos com a escolha dos locais de apoio. Além disso, técnicas como modelos de fluxo em rede ajudam na alocação eficiente de centros de emergência, ajustando serviços existentes e potenciais. A incorporação de incertezas na demanda e na disponibilidade de recursos por meio de modelos estocásticos garante decisões robustas e adaptáveis.

A gestão de estoques é outro elemento central na logística de desastres, fundamental para assegurar que suprimentos essenciais estejam disponíveis nos momentos e locais necessários. O pré-posicionamento estratégico de itens como alimentos e medicamentos reduz o tempo de resposta a emergências, enquanto a gestão dinâmica dos estoques durante operações ajuda a prever necessidades futuras e coordena reabastecimentos. Modelos de otimização também lidam com fatores como a perecibilidade dos produtos, minimizando desperdícios, e incorporam incertezas para ajustar o gerenciamento a condições variáveis, como demanda flutuante e disponibilidade limitada de suprimentos.

O planejamento de evacuação, por sua vez, é crucial para proteger vidas em situações de perigo iminente. Modelos de otimização auxiliam na determinação das rotas mais seguras e eficientes, considerando aspectos como capacidade das vias, tempo de viagem e gargalos potenciais. Além disso, a alocação de recursos de transporte é planejada para garantir o deslocamento ordenado de grandes grupos de pessoas para locais seguros. Ferramentas baseadas em modelos de fluxo em rede otimizam o movimento de pessoas e minimizam o tempo total de evacuação, evitando congestionamentos e garantindo o direcionamento a múltiplos destinos de acordo com proximidade e capacidade. A consideração de diferentes cenários de desastre por meio de modelos estocásticos reforça a robustez e flexibilidade desses planos.

Por meio de uma abordagem quantitativa e estruturada, os modelos de otimização oferecem soluções práticas para os desafios únicos da logística humanitária. A aplicação dessas ferramentas permite não apenas acelerar a resposta a emergências, mas também maximizar a eficiência e minimizar o impacto humano de desastres. Seu uso integrado em áreas como localização, estoques e evacuação demonstra seu potencial para transformar crises em cenários de maior controle e organização.

METODOLOGIAS DE SOLUÇÃO EM PROBLEMAS DE LOGÍSTICA DE EMERGÊNCIA

Este estudo aprofundou-se em diversas metodologias de solução aplicadas a problemas complexos de logística de emergência, que frequentemente envolvem fluxo em rede, otimização e incerteza, com base nas informações colhidas temos:

RELAXAÇÃO LAGRANGEANA

A Relaxação Lagrangeana se destaca como uma abordagem heurística altamente eficaz para a resolução de problemas complexos de fluxo em rede, especialmente em contextos que combinam as características do problema de fluxo multi-commodity em rede e do problema de roteamento de veículos. Sua aplicabilidade a problemas complexos, como aqueles enfrentados na logística de emergências, evidencia sua importância em situações que demandam soluções rápidas e eficientes.

Um dos principais benefícios dessa técnica é a decomposição do problema, que permite dividir uma questão complexa em subproblemas mais simples e manejáveis. No contexto da logística de emergências, o modelo geral, denominado Model P, é naturalmente fragmentado em dois subproblemas: um problema de fluxo multi-commodity linear (P1), relacionado a commodities convencionais, e um problema de fluxo inteiro (P2), que abrange o fluxo de veículos. Essa estrutura facilita a resolução simultânea de questões que envolvem diferentes tipos de fluxos, promovendo maior eficiência operacional.

Outro aspecto central é o relaxamento de restrições, que viabiliza a decomposição do problema. Restrições como as capacidades dos arcos para veículos são relaxadas e incorporadas à função objetivo por meio de multiplicadores de Lagrange. Essa abordagem introduz termos de penalidade que permitem solucionar os subproblemas de forma iterativa, mantendo um equilíbrio entre eficiência e viabilidade da solução.

O processo iterativo e a convergência são elementos fundamentais na aplicação da Relaxação Lagrangeana. O algoritmo iterativo proposto, conhecido como AlgLR, é utilizado para acoplar a solução dos dois subproblemas. Por meio de ajustes progressivos nos multiplicadores de Lagrange, o AlgLR busca encontrar uma solução que satisfaça as restrições relaxadas. A eficácia desse processo foi comprovada em testes realizados com problemas de pequeno porte, bem como em cenários realistas de terremotos, demonstrando sua aplicabilidade prática em contextos desafiadores.

Embora o modelo original (Model P) possa se tornar intratável para problemas de grande escala devido ao número de variáveis inteiras envolvidas, a Relaxação Lagrangeana apresenta uma solução viável. Essa técnica permite obter resultados sub-ótimos em tempos computacionais razoáveis, mesmo em situações de maior complexidade. A eficiência do AlgLR foi demonstrada em problemas gerados aleatoriamente e em cenários simulados de desastres, evidenciando sua escalabilidade e utilidade em emergências de grande porte.

Em síntese, a Relaxação Lagrangeana é uma ferramenta valiosa para lidar com problemas complexos na logística de emergências. Sua capacidade de decompor questões difíceis, ajustar restrições por meio de multiplicadores de Lagrange e iterar para alcançar soluções viáveis a torna uma abordagem estratégica para otimizar operações e responder a demandas críticas de forma eficiente.

PROGRAMAÇÃO LINEAR E PROGRAMAÇÃO INTEIRA

As técnicas de Programação Linear (PL) e Programação Inteira (PI) desempenham um papel crucial na formulação de modelos matemáticos aplicados à logística de emergência. Essas ferramentas são utilizadas para modelar e resolver problemas complexos que surgem em situações críticas, contribuindo para uma gestão mais eficiente de recursos e operações em contextos de desastres.

A modelagem de fluxo em rede é uma das abordagens mais comuns na logística de emergência, representando o transporte de múltiplos tipos de bens (commodities) por redes com capacidade limitada. Enquanto a Programação Linear é utilizada para modelar o fluxo contínuo dessas commodities, a Programação Inteira é empregada para decisões discretas, como a alocação de veículos. Essa combinação permite capturar com precisão as diferentes características do problema.

Um avanço significativo nesse campo é a formulação mista inteira, também conhecida como Programação Linear Inteira Mista (PLIM). Nesse modelo, algumas variáveis são contínuas, como o fluxo de commodities, enquanto outras são inteiras, representando, por exemplo, o fluxo de veículos tratados como commodities inteiras. Essa abordagem híbrida possibilita a integração eficiente entre o transporte de bens e o roteamento de veículos, essencial para lidar com a complexidade desses cenários.

Na abordagem de Relaxação Lagrangeana, o problema original é decomposto em subproblemas, o que simplifica sua resolução. Um exemplo é o subproblema P1, que lida com o fluxo de commodities. Após o relaxamento de restrições de capacidade dos veículos, P1 torna-

se um programa linear. No entanto, a solução repetitiva de P1 em redes de grande escala pode ser computacionalmente intensiva, incentivando a busca por algoritmos mais eficientes para resolver problemas de fluxo de custo mínimo multi-commodity.

Paralelamente, o subproblema P2 envolve o controle do movimento dos veículos, com variáveis de fluxo inteiras. A solução de P2 busca minimizar a capacidade veicular não utilizada, alocando veículos para atender ao transporte de fluxos identificados em P1. Em alguns casos, a estrutura do problema de fluxo em rede de P2 permite que soluções inteiras sejam alcançadas mesmo após o relaxamento linear, o que aumenta sua eficácia e aplicabilidade.

Além disso, o uso de solucionadores especializados, como LINDO e CPLEX, é fundamental para resolver os modelos formulados e os subproblemas gerados pela decomposição. Essas ferramentas fornecem suporte computacional para lidar com problemas complexos, oferecendo soluções viáveis em tempos razoáveis, mesmo em redes de grande escala.

Assim sendo, a combinação de Programação Linear e Inteira, juntamente com técnicas avançadas como a Relaxação Lagrangeana e solucionadores eficientes, constitui um conjunto poderoso de ferramentas para enfrentar os desafios logísticos em situações de emergência.

HEURÍSTICAS E METAHEURÍSTICAS

Devido à elevada complexidade computacional dos problemas de logística de emergência, especialmente em cenários de grande escala, o uso de heurísticas e metaheurísticas se torna uma abordagem essencial. Essas técnicas são amplamente aplicadas para encontrar soluções de boa qualidade dentro de um tempo computacional razoável, fornecendo respostas práticas mesmo em situações onde os modelos exatos se tornam intratáveis.

A necessidade de abordagens heurísticas emerge especialmente em instâncias de redes de tamanho moderado e grande, nas quais a resolução exata dos problemas é inviável. Heurísticas, embora não garantam a solução ótima global, conseguem calcular soluções subótimas em tempo polinomial, permitindo atender às demandas de decisões rápidas e viáveis em contextos emergenciais.

Entre as técnicas mais destacadas, o Simulated Annealing (SA) surge como uma metaheurística promissora, com aplicações práticas em problemas de alocação de recursos após terremotos. Inspirado no processo de têmpera de metais, o SA é uma técnica de busca probabilística que possibilita a fuga de ótimos locais por meio da aceitação controlada de

soluções piores. Testes iniciais indicam que a implementação do SA é eficaz, alcançando resultados satisfatórios na alocação de recursos em cenários críticos.

Outra abordagem relevante é a Tabu Search (TS), uma metaheurística que explora o espaço de soluções por meio de uma "lista tabu" que registra soluções visitadas recentemente, evitando ciclos e guiando a busca para novas áreas. Apesar de sua utilidade, os primeiros testes apontam que o SA pode apresentar resultados superiores, embora a TS continue a ser considerada uma ferramenta valiosa para problemas de otimização em logística de emergências.

Já a heurística greedy foi projetada especificamente para comparar o desempenho do Algoritmo de Relaxação Lagrangeana (AlgLR) em cenários de terremotos. Baseada no princípio do caminho mais curto modificado, essa heurística busca alinhar as capacidades dos veículos às necessidades de transporte com base na proximidade. Embora seja eficiente em termos de tempo computacional, a heurística greedy tende a produzir soluções inferiores em comparação ao AlgLR, por não otimizar os subproblemas de maneira global.

Além disso, a literatura relacionada ao Problema de Roteamento de Veículos (VRP) e seus derivados aborda extensivamente outras heurísticas e algoritmos de busca local, como o simulated annealing e a tabu search. Essas técnicas, frequentemente adaptadas para aplicações específicas, demonstram sua relevância na otimização de operações logísticas em contextos desafiadores.

Desta feita, heurísticas e metaheurísticas se consolidam como ferramentas indispensáveis para lidar com problemas complexos na logística de emergência. Ao oferecer soluções ágeis e adequadas para redes de grande escala, essas técnicas equilibram eficiência computacional e qualidade dos resultados, desempenhando um papel crítico no atendimento às necessidades emergenciais.

SIMULAÇÃO

A simulação emerge como uma metodologia essencial para a análise de cenários de desastres e a avaliação de estratégias de resposta logística. Sua aplicação permite não apenas compreender melhor as dinâmicas de situações críticas, mas também testar e otimizar diferentes abordagens, promovendo decisões mais eficazes em contextos de alta complexidade.

A análise de cenários proporcionada pelos modelos de simulação possibilita a criação de representações realistas de desastres, considerando variáveis como o nível de impacto, os danos à infraestrutura, a disponibilidade de recursos e os padrões de demanda. Ao simular a progressão de um desastre e as respostas logísticas associadas, torna-se viável identificar

gargalos, avaliar a capacidade do sistema e testar diferentes planos de ação. Essa visão detalhada contribui para antecipar desafios e aprimorar a preparação logística.

No que diz respeito à avaliação de estratégias, a simulação oferece uma plataforma comparativa para analisar a eficácia de diferentes abordagens, como a alocação de recursos, o roteamento de veículos e a coordenação entre agências. A capacidade de variar parâmetros e regras de decisão dentro de um modelo de simulação permite que gestores identifiquem as estratégias mais robustas e eficientes, ajustando-as conforme necessário para lidar com diversos cenários.

A integração da simulação com sistemas de apoio à decisão (SAD) amplia ainda mais seu impacto. Esses sistemas oferecem ferramentas para visualizar os impactos de decisões em tempo real, possibilitando a adaptação dinâmica das operações de resposta. Dessa forma, os gestores de emergência ganham um recurso poderoso para planejar ações e mitigar riscos com maior precisão.

Outro aspecto fundamental dos modelos de simulação é a consideração da incerteza, uma característica intrínseca dos desastres. Por meio da incorporação de distribuições de probabilidade para variáveis como demanda, oferta e capacidade da rede de transporte, é possível realizar análises de múltiplos cenários probabilísticos. Isso ajuda a avaliar os riscos associados às diferentes estratégias e a desenvolver respostas mais resilientes e adaptáveis.

Entre as aplicações práticas, a simulação tem se mostrado valiosa em contextos como planejamento de evacuação, alocação de recursos e criação de cenários realistas de desastres. Modelos interdisciplinares de simulação têm a capacidade de integrar aspectos de fenômenos naturais, elementos técnicos de engenharia e comportamento social, oferecendo uma visão holística das operações logísticas.

Em resumo, a simulação complementa outras metodologias de solução, como modelagem matemática, técnicas de decomposição e heurísticas, formando uma abordagem multifacetada para os desafios da logística de emergência. Sua capacidade de prever, avaliar e aprimorar estratégias de resposta contribui significativamente para a eficiência e eficácia das operações, sendo uma ferramenta indispensável na gestão de desastres e na redução de seu impacto.

A IMPORTÂNCIA DA ABORDAGEM MULTI-MODAL

A abordagem multi-modal desempenha um papel crucial na logística de desastres, proporcionando flexibilidade e resiliência ao transporte de suprimentos e recursos em cenários

de emergência. A diversidade de modos de transporte, como rodoviário, aéreo, marítimo e ferroviário, torna-se essencial quando a infraestrutura é danificada ou sobrecarregada, garantindo que todas as áreas afetadas sejam acessadas e atendidas de forma eficaz.

A consideração de diferentes modos de transporte é um aspecto indispensável para superar os desafios impostos por desastres naturais e outras emergências. Quando estradas estão bloqueadas, aeroportos inutilizáveis ou vias ferroviárias danificadas, a capacidade de utilizar opções alternativas permite manter a continuidade na entrega de ajuda. Assim, a abordagem multi-modal garante maior adaptabilidade às condições adversas e aumenta a capacidade de resposta em momentos críticos.

Essa flexibilidade é reforçada pela resiliência proporcionada pela alternância entre modos de transporte, que permite a manutenção de operações logísticas diante de interrupções imprevisíveis. Ao integrar diversos meios de transporte, a cadeia de suprimentos se torna mais robusta, minimizando os impactos de falhas em um único modo e facilitando o acesso às regiões mais afetadas.

Os modelos de fluxo em rede multi-commodity e multi-modal otimizam ainda mais a distribuição em cenários de desastre. Esses modelos permitem considerar simultaneamente diferentes tipos de ajuda e as diversas opções de transporte disponíveis. Uma restrição importante nesse contexto é garantir que cada tipo de veículo percorra apenas os arcos existentes em suas sub-redes correspondentes, assegurando que o planejamento seja realista e adaptado às condições operacionais.

O PAPEL DA TECNOLOGIA

O papel da tecnologia é fundamental para aumentar a eficiência e eficácia da logística de desastres. Ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (GIS) são indispensáveis para visualizar e analisar dados geográficos relevantes, permitindo identificar áreas afetadas, mapear os recursos disponíveis e configurar rotas de transporte. Os GIS também são utilizados para desenvolver cenários de danos e perdas, facilitando o planejamento detalhado e preciso.

Os Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) oferecem aos gestores de emergências informações e recomendações otimizadas para alocação de recursos e roteamento de suprimentos. No entanto, é essencial aprimorar a interface desses sistemas para garantir sua aplicabilidade em tempo real, aumentando a agilidade na tomada de decisões críticas.

As tecnologias de comunicação e sensoriamento também desempenham um papel estratégico, pois algoritmos de sensoriamento eficientes, apoiados por dados em tempo real,

permitem uma compreensão atualizada do estado das operações. Isso facilita decisões dinâmicas de alocação de recursos, ajustando estratégias conforme necessário.

A integração de bancos de dados é outra necessidade prioritária, permitindo que sistemas conectem informações de unidades de estoque, centros de distribuição, redes de transporte e equipes de busca e salvamento a um centro de coordenação centralizado. Essa centralização facilita o planejamento logístico e melhora a coordenação entre diferentes atores envolvidos.

Finalmente, o uso de softwares de otimização é indispensável para resolver os modelos matemáticos complexos associados à logística de desastres. Essas ferramentas especializadas tornam possível a obtenção de soluções viáveis em tempos computacionais razoáveis, mesmo em cenários de alta complexidade.

LOGÍSTICA EM CONFLITOS ARMADOS E DISTÚRBIOS CIVIS

A atuação logística em cenários de guerra e distúrbios civis representa uma das faces mais complexas da logística emergencial. Nestes contextos, as operações não ocorrem apenas em ambiente de colapso estrutural, como em desastres naturais, mas também sob ameaça direta à segurança das equipes, dos recursos e da população atendida. A logística de suprimentos em zonas de conflito exige uma combinação de velocidade, resiliência, inteligência tática e medidas de segurança robustas.

A distinção fundamental nesse tipo de operação está na necessidade de atuar sob fogo cruzado, em ambientes hostis e imprevisíveis. As rotas logísticas precisam ser constantemente adaptadas de acordo com o avanço ou retração de grupos armados, restrições impostas por forças locais e disponibilidade real de acesso. A ausência de neutralidade e a manipulação da ajuda humanitária por facções armadas exigem planejamento estratégico aliado a protocolos de segurança militar e inteligência situacional.

Em missões da ONU, Cruz Vermelha e Médicos Sem Fronteiras em zonas de conflito — como Síria, Sudão do Sul ou Ucrânia —, a logística humanitária depende frequentemente da escolta de comboios, negociação com forças em confronto e uso de corredores humanitários temporários (ICRC, 2017). No Brasil, operações de Garantia da Lei e da Ordem (GLO) e intervenções federais em áreas conflagradas, como no Rio de Janeiro, também exigem planejamento logístico com regras de engajamento claras, capacidade de evacuação médica (MEDEVAC) e resiliência frente a sabotagens ou bloqueios operacionais.

LOGÍSTICA SOB RISCO: FATORES CRÍTICOS

A logística em zonas de risco apresenta desafios significativos que exigem estratégias bem estruturadas para garantir a segurança e a eficácia das operações. Os fatores críticos que influenciam essas atividades abrangem desde a proteção dos ativos logísticos até a articulação entre diferentes setores envolvidos no processo.

Um dos pontos primordiais é a proteção dos ativos logísticos, que inclui armazéns, centros de distribuição móveis e comboios. Para assegurar a integridade desses recursos, é essencial implementar medidas de segurança armada ou contar com reforço policial ou militar. A presença de forças de segurança reduz a vulnerabilidade a ataques e roubos, preservando os materiais necessários para as operações em áreas de risco.

Outro aspecto fundamental é a inteligência tática em tempo real, que se refere ao monitoramento constante de ameaças, zonas de confronto, mobilidade das tropas e possíveis impactos para civis. Essa capacidade permite que os gestores de logística ajustem suas estratégias rapidamente, evitando perdas e garantindo a continuidade das operações.

Além disso, a gestão de suprimentos em condições de racionamento extremo é vital. Nessas situações, evitar estoques concentrados e apostar em kits móveis e rotas alternativas pode fazer a diferença para manter a distribuição eficiente de recursos, minimizando os impactos do racionamento.

Por fim, a coordenação civil-militar (CIMIC) é indispensável para o sucesso das operações logísticas em zonas de risco. Essa articulação envolve a colaboração entre ONGs, forças armadas, defesa civil e agências internacionais, garantindo alinhamento estratégico e divisão de tarefas. Essa interação permite que esforços sejam direcionados de forma coordenada, aumentando a eficácia das ações realizadas em ambientes hostis.

Esses fatores, quando bem administrados, tornam-se pilares essenciais para uma logística segura e eficiente em situações de risco elevado, contribuindo para minimizar prejuízos e preservar vidas.

TECNOLOGIAS APLICADAS A ZONAS DE CONFLITO

As tecnologias aplicadas a zonas de conflito desempenham um papel estratégico no aumento da segurança e na eficiência das operações em ambientes hostis. Elas oferecem soluções inovadoras que minimizam riscos para os profissionais envolvidos, ao mesmo tempo que asseguram a proteção de recursos e informações sensíveis.

Entre as tecnologias destacam-se os drones de reconhecimento tático, utilizados para mapear áreas de risco sem a necessidade de expor pessoal a situações perigosas. Esses dispositivos permitem o monitoramento remoto e em tempo real de terrenos, identificando potenciais ameaças e coletando dados essenciais para a tomada de decisões estratégicas.

Outra tecnologia crucial são os sistemas de rastreamento com bloqueio remoto, projetados para proteger veículos e cargas em áreas hostis. Esses sistemas garantem maior controle logístico, permitindo a localização precisa de ativos e a possibilidade de desativá-los remotamente em caso de roubo ou invasão equipamentos de comunicação criptografada, reforçando a segurança de operações.

Adicionalmente, os desempenham um papel fundamental para a manutenção da coordenação entre equipes. Esses dispositivos asseguram que as informações trocadas permaneçam protegidas contra interceptações, garantindo a confidencialidade dos dados em ambientes de risco e facilitando a execução de estratégias com alto grau de sigilo.

Essas tecnologias, em conjunto, representam um avanço significativo na gestão de zonas de conflito, contribuindo para a redução de vulnerabilidades e para o fortalecimento das operações em cenários desafiadores. Com o progresso contínuo dessas inovações, espera-se que sua aplicação torne essas operações ainda mais eficazes e seguras.

LIÇÕES APRENDIDAS E FRAMEWORKS APLICÁVEIS

Modelos baseados em logística militar adaptada para uso civil têm se mostrado eficazes em zonas instáveis. O uso de células logísticas móveis, kits de atendimento emergencial portáteis e protocolos de suprimento em camadas (base – apoio avançado – ponto de crise) são práticas derivadas do campo militar aplicadas com sucesso na resposta a distúrbios e guerras civis.

Além disso, a simulação de cenários de conflito e a aplicação de modelos estocásticos contribuem para antecipar rupturas logísticas e planejar respostas alternativas. Segundo Van Wassenhove (2006), a chave para operações eficazes em ambientes hostis está na capacidade de resposta rápida com base em planejamento prévio e alianças estratégicas. A robustez operacional não está apenas em ter estoque e rota: está em prever o imprevisto, negociar sob pressão e adaptar a logística à guerra real — não à ideal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A logística humanitária se apresenta como um campo essencial para mitigar os impactos de desastres naturais, pandemias e crises humanitárias, demandando planejamento estratégico, uso de tecnologias emergentes e colaboração multissetorial. Este estudo, fundamentado em uma análise integrada da literatura, enfatiza a importância de aprimorar práticas e explorar novos horizontes para maximizar a eficácia das operações logísticas em cenários críticos.

A análise evidenciou os desafios estruturais enfrentados por esse campo, como destruição de infraestruturas, escassez de recursos e condições operacionais caóticas. Eventos como terremotos e pandemias expõem vulnerabilidades sistêmicas que requerem respostas ágeis e adaptáveis para minimizar perdas humanas e materiais. Como estratégias para superar esses desafios, destacam-se:

- **Otimização e modelagem matemática:** Modelos de otimização, como Programação Linear Inteira Mista e Relaxação Lagrangeana, são cruciais para alocar recursos e otimizar o roteamento de veículos, reduzindo tempos de resposta e ampliando a cobertura geográfica das operações.
- **Tecnologias disruptivas:** O uso de drones, sistemas de rastreamento em tempo real e GIS revolucionam a logística ao melhorar a distribuição de suprimentos e a análise de cenários complexos, enquanto simulações permitem antecipar falhas e testar estratégias.
- **Abordagem multimodal:** A integração de diferentes meios de transporte, como rodoviário, aéreo e marítimo, oferece maior resiliência diante de infraestruturas comprometidas.
- **Lições da pandemia de COVID-19:** A crise sanitária demonstrou a importância de cadeias de suprimentos regionalizadas, estoques estratégicos e parcerias público-privadas, além de destacar a necessidade de digitalização para agilizar as operações logísticas.

No campo prático, as contribuições incluem o fortalecimento da resiliência por meio do desenvolvimento de infraestruturas adaptativas e sistemas descentralizados de comunicação, além de treinamentos para capacitar equipes de resposta com habilidades em gestão de crises e tecnologias emergentes, como inteligência artificial e blockchain. Além disso, a cooperação multissetorial entre governos, ONGs e o setor privado se revela indispensável para otimizar recursos, como evidenciado pela distribuição eficiente de vacinas durante a pandemia de COVID-19.

Por outro lado, foram identificadas lacunas e direcionamentos para pesquisas futuras, incluindo a necessidade de estudos regionais que considerem variações culturais, geopolíticas e socioeconômicas, bem como a aplicação de tecnologias emergentes, como machine learning

para prever demandas e blockchain para transparência em doações. Abordagens interdisciplinares, unindo ciência de dados, sociologia e engenharia, também são fundamentais para resolver problemas como evacuações em massa e gestão de estoques perecíveis. Questões éticas e de equidade também demandam mais atenção, para garantir uma distribuição justa de recursos, especialmente em situações de desigualdade.

Conclui-se que a logística de desastres transcende aspectos técnicos, assumindo um papel humanitário essencial. Em um contexto em que a frequência e a gravidade de desastres se intensificam, a capacidade de responder com agilidade, precisão e empatia é crucial para salvar vidas e minimizar danos. Este estudo destaca três pilares indispensáveis para a eficácia das operações logísticas: inovação tecnológica para antecipar e mitigar riscos, colaboração institucional para potencializar recursos e conhecimentos, e um foco no ser humano para garantir que as soluções técnicas atendam a necessidades reais.

Mais do que reagir a crises, a logística humanitária deve se tornar um sistema proativo, capaz de transformar vulnerabilidades em oportunidades de resiliência. Isso exige um compromisso global entre governos, academia e sociedade civil, guiado por ciência, ética e compaixão. Afinal, salvar vidas em desastres não é apenas uma questão de logística, mas também um reflexo da capacidade humana de unir esforços diante da adversidade.

REFERÊNCIAS

AGGARWAL, C.C.; OBLAK, M.; VEMUGANTI, R.R. A heuristic solution procedure for multi-commodity integer flows. **Computers and Operations Research**, v. 22, p. 1075–1087, 1995.

AWERBUCH, B.; LEIGHTON, T. Multi-commodity flows: a survey of recent research. In: **Proceedings of ISAAC '93**, p. 297–302, 1993.

ANONYMOUS. Payments industry learns key lessons from Katrina. **Electronic Payments Week**, v. 2, n. 42, p. 13, 2005.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Manual de logística em operações de Garantia da Lei e da Ordem (GLO)**. Brasília: MD, 2020.

ESCUDEIRO, L.F. Production planning via scenario modelling. **Annals of Operations Research**, v. 43, p. 311–335, 1993.

GAI, Wenmei; DU, Yan; DENG, Yunfeng. Evacuation risk assessment of regional evacuation for major accidents and its application in emergency planning. **Safety Science**. Volume 106, July 2018, Pages 203-218p. 151–168.

ICRC – Comitê Internacional da Cruz Vermelha. **Logística humanitária em conflitos armados: princípios e desafios operacionais**. Genebra: CICV, 2017.

LIU, Yong; DU, Jun-liang; WANG, Yu-hong. An improved grey group decision-making approach. **Applied Soft Computing**, v. 76, p. 78–88, 2019.

MULVEY, J.M.; VLADIMIROU, H. Stochastic network programming for financial planning problems. **Management Science**, v. 3, p. 1642–1664, 1992.

SHAPIRO, A.; HOMEM-DE-MELLO, T. A simulation-based approach to the two-stage stochastic programming with recourse. **Mathematical Programming**, v. 81, p. 301–325, 1998.