

Análise dos modelos matemáticos para o transporte de ajuda humanitária em situações de desastres

Lorena Hernández Mastrapa (UNIMEP) lorenahmastrapa@gmail.com

Daniel René Tasé Velázquez (UNIMEP) dtasev88@gmail.com

Everton Dias de Oliveira (UNIMEP) everton_deoliveira20@hotmail.com

Caroline Kuhl Gennaro (UNIMEP) caroline.gennaro@a.unimep.br

Maria Julia Xavier Belém (UNIMEP) mjuliaxb@gmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta uma revisão de artigos científicos que propõem uma modelagem matemática para atuação na logística humanitária na atividade de transporte, na roteirização e desenho de rotas em situações de desastre. A partir desta revisão, foram analisadas as funções objetivo e os tipos de modelos de programação na pesquisa operacional mais utilizado. Também foram estudadas como se faz a previsão e o tratamento da demanda. Desta forma, foi possível perceber as dificuldades de utilização de modelos de transporte em situações de desastre. Além, permite reconhecer os aspectos associados às características que impedem um melhor desenvolvimento e funcionalidade nos modelos, as fraquezas que ainda existem neste contexto e as potencialidades de pesquisa nesta área com o intuito de criar ou adaptar modelos matemáticos de transporte nas reais condições operacionais na ação humanitária.

Palavras chave: modelos matemáticos, otimização das redes de transporte, situações de desastre, situações de pós-desastre, situações pre-desastre.

Analysis of mathematical models for transporting humanitarian aid in disaster situations

Abstract

This work presents a review of scientific articles that propose a mathematical model to operate in humanitarian logistics in transport activity for disaster situations. In this review were identified the objective functions and the types of programming models in operations research more used. It was also studied how to make the prediction and treatment of demand. Thus, it was possible to perceive the difficulties for using transport models in disaster situations. It is possible to recognize some aspects associated with characteristics that avoid a better development and function in the model, the weaknesses that still exist in this scope and research potential in this area in order to create or adapt mathematical models of transport in real situations in humanitarian action.

Keywords: mathematical models, optimization network transport, disaster situation, post disaster situation, pre disaster situation

1. Introdução

Desastre é definido como o evento súbito e calamitoso que interrompe as atividades de uma sociedade ou comunidade, causando perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais que excedem a capacidade de recuperação da sociedade atingida usando apenas seus próprios recursos (Natarajarathinam *et al.*, 2009). De acordo com Van Wassenhove, 2006 os desastres são classificados por: (i) a velocidade de início (súbito ou lento) e (ii) se são "provocados pelo homem" ou "naturais". A classificação é necessária para definir as medidas de: mitigação, preparação, de resposta e de recuperação que permitam a orientação dos especialistas e órgãos envolvidos em determinado desastre.

É importante destacar que os desastres naturais geralmente obtêm maior atenção da mídia, o que, muitas vezes, leva a um maior financiamento. Entretanto, tais desastres apresentam, cada vez mais, impactos maiores sobre comunidades e nações por todo o mundo e previsões confirmam que esta tendência deve continuar (Guha-Sapir, 2013). Nas últimas três décadas, a ocorrência de desastres naturais aumentou de 50 para 400 por ano (Kovács e Spens, 2007). Para os próximos 50 anos, esperasse que esta taxa se torne cinco vezes maior (Thomas e Kopczak, 2005). Além de que os provocados pelo homem tem uma taxa de aumento, perceptível nos últimos anos.

O cenário instável e aleatório imposto por um desastre natural gera uma tarefa de difícil solução no contexto de alívio humanitário, exigindo a presença de uma gestão adequada para a melhoria do planejamento da resposta. Castro (1999) e Van Wassenhove (2006) consideram o gerenciamento de desastres em quatro fases: Prevenção, Preparação, Resposta e Reconstrução.

Sistemas de infraestruturas críticas - incluindo transporte - desempenham um papel essencial na mitigação de desastres, resposta e recuperação, em toda a comunidade e, portanto, alvos de alta prioridade para aprimoramento de resiliência (Tierney e Bruneau, 2007). Nestas ações, atrasos na entrega de suprimentos ou na prestação de ajuda podem custar vidas e a atividade de transportação tem um papel muito importante nelas.

A eficiência do transporte na logística é um aspecto crítico para o sucesso de uma ação humanitária deste tipo por garantir o fluxo de bens e serviços em uma cadeia de suprimentos complexa. Neste contexto, torna-se essencial a busca, por meio da Logística Humanitária, de um procedimento para a transportação eficiente, com o objetivo de contribuir na cadeia de suprimentos para a ajuda humanitária, no planejamento, implantação e controle dos suprimentos, além de acompanhar o fluxo de informações, desde a origem até o consumo, com o propósito de atender aos requisitos do beneficiário final (Thomas e Mizushima, 2005; Thomas e Kopczak, 2005).

No entanto, na logística humanitária, as decisões costumam ser tomadas com urgência e com base na experiência e na intuição dos profissionais envolvidos. O processo decisório durante este tipo de operação é complexo, uma vez que atributos importantes do problema são incertos. As necessidades mudam rapidamente, além do pouco tempo disponível e dificuldade em obter informações necessárias para a tomada de decisão (Beamon e Balcik, 2005).

O presente artigo se foca nas operações de transportação nas situações de desastres e tem o objetivo de contribuir na melhora do desempenho da atividade de transporte na ajuda

humanitária em desastres; a partir de uma revisão e análise de artigos científicos que propõem modelos matemáticos para a roteirização e desenho de rotas em situações de desastres, e sua comparação com os modelos gerais de transporte.

O trabalho está composto por três tópicos, onde no primeiro se fez uma introdução do tema, abordando os conceitos fundamentais e o objetivo da pesquisa. No segundo se realiza uma seleção a partir da pesquisa em diferentes bases de dados e uma análise da literatura encontrada como relevante nela. Logo, no terceiro tópico os artigos selecionados foram analisados de acordo a seus objetivos, a abordagem logística, técnicas e tipos de modelos de programação na pesquisa operacional, além da forma de análise da demanda. Além disso, é apresentada uma análise comparativa dos modelos de transporte gerais e os modelos de transporte para situações de desastres, avaliando as condições em que possam contribuir para que as operações logísticas atinjam melhores resultados. Finalmente, foram expostas as conclusões obtidas a partir da análise da literatura, e as futuras possibilidades de pesquisas neste campo da logística humanitária.

2. Análise e seleção da literatura

Para a busca da literatura relacionada com o tema de estudo foi feita uma pesquisa nas bases de dados da Science Direct, Web of Science, Scopus, Proquest e Google Academic. Com o intuito de obter a bibliografia mais atualizada e relacionada com o objeto de estudo foi feita uma combinação das palavras chaves: “Modelos de transporte” e “Modelos de otimização de redes de transporte” com “situações de desastre”, “situações de pós-desastre” e “situações pre-desastre”. Nas bases de dados, foi realizado um filtro selecionando os campos “Pesquisa Operacional e Ciências Gerenciais” e “Transportes” como áreas de pesquisa, onde se obtiveram um total de 65 artigos relevantes com o tema da pesquisa. Após a coleta inicial dos artigos, se fez uma classificação segundo os que propõem modelos matemáticos para as atividades de distribuição na rede e os que propõem modelos de roteirização e desenho de rede de transporte. Assim, dos artigos inicialmente selecionados, 40 são a base da revisão apresentada neste trabalho.

A análise dos objetivos propostos pelos autores permitiu uma melhor compreensão da abordagem de cada modelo na busca de melhoras no desempenho da atividade logística objeto de estudo.

2. 1 Análise da literatura selecionada

Thomas (2003) propõe um modelo composto por sete etapas onde se representam os processos logísticos da cadeia de suprimentos humanitária. Onde um dos elos é o transporte e

a distribuição, o qual atua em situações extremas para levar a ajuda onde seja preciso no menor tempo possível e nas melhores condições.

Dependendo em grande medida da preparação da sociedade onde aconteça o desastre, a demanda pode ser melhor prevista, e os reportes do efeito na infraestrutura e outras informações podem ser melhor fornecida em um tempo mais curto, podendo tomar decisões mais acertadas, e começar a brindar a ajuda em um menor tempo. É por isso que a logística humanitária tem que ter ferramentas praticas que lhe permitam atuar em qualquer cenário ao longo da cadeia de suprimentos de ajuda.

O plano de transporte na logística humanitária envolve prazos de recolhida e de entrega ótimos para os veículos dentro do horizonte de tempo planejado, tanto como as quantidades ideais e tipos de cargas apanhadas e entregas ótimas sejam definidas nestas rotas. Esses planos são regenerados, enquanto aos novos pedidos de demanda ocorrer ou enquanto novos fornecedores e os modos de transporte se tornam disponíveis durante o horizonte de tempo de planejamento (Argollo et al., 2014).

Um dos problemas que mais se destacam ao longo das etapas do desastre, antes definidas, com respeito a atividade de transporte é a roteirização e o desenho de rede de transporte. Os modelos, propostos pelos artigos estudados, voltados para o problema de roteirização no contexto humanitário tratam, de forma geral, das questões referentes ao tempo e ao atendimento da demanda, de maneira similar a aplicação para o contexto comercial. Mas existem adequações para cenários próprios da logística humanitária.

Têm sido propostos grande número de abordagens baseadas na otimização determinística para a concepção e a distribuição da produção nas redes, ao longo da cadeia (Vidal e Goetschalckx, 1997). Há também um grande esforço de investigação na componente de localização de instalações de desenho de rede da cadeia de abastecimento sobre a incerteza (Owen e Daskin, 1998).

Segundo Han, et al., (2010) incertezas de demanda são a natureza inerente do fornecimento de material de emergência devido à rápida mudança do ambiente e as exigências na região do desastre. Mesmo assim, na Logística humanitária se tem poucos estudos onde se analisa a incerteza da demanda ao longo da cadeia de suprimento de ajuda (Argollo et al., 2014).

Pesquisas em modelos mais complexos, localização multi-escalão sobre a incerteza única propõem uma estrutura de otimização robusta para desenho de rede sobre a incerteza. Outros consideram um modelo de programação estocástica de dois estágios para um multi-produto,

multi-escalon na cadeia de abastecimento baseada em cenários de incerteza da demanda, mas maioritariamente voltada sobre a logística comercial.

Embora alguns dos modelos publicados sobre o problema no planejamento na logística de emergência têm algumas características em comum com eles, pois em muitos dos modelos construídos para a análise da rede de abastecimento na logística comercial tem analisado além da incerteza na demanda o análise de riscos, podendo ser aplicados prevenção e preparação e determinar os pontos mais vulneráveis na cadeia. Mas eles não podem ser adotados para condições específicas de desastres por duas razões: os pontos de demanda de resgate em um desastre ocorrem aleatoriamente, e a distribuição de recursos de resgate exige uma assistência mútua entre multi-grupo, multi-escalon, e multi-níveis de fornecedores.

3. Análise dos modelos de transporte para situações de desastres encontrados na literatura

Com base nas observações feitas durante o trabalho de pesquisa, se identificaram algumas características relevantes em formulações matemáticas nos modelos de transporte. A Tabela 1 resume as características que se quiseram ressaltar dos modelos avaliados.

Em termos de funções objetivo, é predominante a minimização do atraso do percurso para o fornecimento da ajuda, seguido por minimização de custos operacionais (logísticos) e sociais. Levando em conta que a dependência exclusiva dos custos logísticos é apropriada para atividades da logística comercial, mas não é para modelos de operações nas situações extremas de pós-desastre na logística humanitária. Enquanto a demandas não atendidas também tem um número importante de pesquisas que se preocupam por minimiza-la nos seus modelos de transporte, assim como a maximização da demanda e da fiabilidade da rota.

Alguns dos modelos onde minimizam demandas não atendidas, ou maximizam a carga entregue, não levam em conta o tempo que uma população ficou sem suprimentos e/ ou a urgência com que os fornecimentos poderão ser necessários em diferentes locais, aspectos de especial importância nestes cenários.

No estudo dos artigos, identificou-se que as principais técnicas de Pesquisa Operacional adotadas nos modelos propostos são: programação inteira (PI), Programação Linear Inteira Mista (PLIM), Programação Estocástica Linear Inteira Mista (PELIM). Alguns autores oferecem aplicações integradas de técnicas, como Yi e Özdamar (2007), para a localização prévia de instalações integrando os problemas de roteirização e de localização; ou Özdamar *et al.* (2004) que propõem um modelo híbrido dos problemas de fluxo de rede multiproduto (PL) e de roteirização de veículos (PI) para a coordenação do processo de distribuição.

A programação estocástica de dois estágios é preferencialmente utilizada em modelos que propõem decisões pré-desastre, com reavaliação após sua ocorrência, atualizando as condições das áreas atingidas e, em determinados trabalhos, com a indisponibilidade de alguns componentes da infraestrutura inicial. Por exemplo, a proposta Mete e Zabinsky (2010), integra um problema de roteirização de veículos com capacidade reduzida utilizando programação estocástica.

A programação inteira tem aplicação também na roteirização de entregas, na localização de instalações e no problema de alocação de pessoal, apresentados, respectivamente, no desenvolvimento multi-objetivo de Lin et al. (2009 e 2011) com solução por heurística de decomposição e atribuição onde estabelecem prioridades baseadas na urgência da entrega dos itens críticos, em que a janela de tempo limita o prazo de envio a partir do qual o não cumprimento gera uma penalização. Ainda no campo da PI, a proposta de Perez et al. (2010) desenvolve o problema de roteirização de veículos onde avaliam a minimização dos custos compostos por uma parcela operacional, incluindo componentes sociais de aspecto humanitário, porém o modelo é de solução complexa e para aplicação em pequenos eventos.

Para tratar de aproximar o melhor possível dois tipos de métodos na situação de emergência na resposta do desastre com incertezas, são muitas vezes aplicados: programação estocástica e teoria difusa. Teoria fuzzy utiliza conjuntos fuzzy para incorporar imprecisa informação de um modo não probabilística com base na experiência e julgamento subjetivo gerencial. Wei e Ozdamar (2007) formulam um modelo de roteamento e transporte com os parâmetros fuzzy para representar incerteza relacionada com a oferta.

Na análise da demanda dos modelos, foi observado que muitos têm definidos as demandas como parâmetros. Geralmente todos eles estão sujeitos a criação de cenários para sua previsão através de uma estimação, baseados no nível de informação que possa obter nas situações, tendo em conta que elas poderão ser ainda mais exatas na medida de quanto forte e bem estruturada esteja a cadeia de informação e sua tecnologia, além das experiências obtidas em outros desastres similares, tanto em situações de pre ou pós-desastre. A demanda nas situações de desastre é um aspecto crítico na criação de modelos matemáticos de roteirização e desenho de rotas de transporte, pois seu comportamento varia dependendo do início e da magnitude do desastre, das características da zona afetada, entre outros aspectos que influenciam no nível de demanda.

De maneira geral os modelos anteriormente analisados evidenciam rasgos acentuados herdados da logística comercial. Mas, podem-se diferenciar, de acordo ao objetivo do sistema,

nas dimensões onde eles se desenvolvem, as características da rede de transporte, os planos de programação, e o trade-off entre o algoritmo de otimização e/ou eficiência.

Além da análise feita entre os modelos para situações de desastres, se fez uma análise comparativa entre estes modelos e os de transporte gerais, que não tem analisado situações de desastre, o que se pode observar na Tabela 2.

Os modelos de transporte gerais operam em redes regulares, os de desastres tem que atuam em redes temporárias. Além de que as decisões para os modelos de transporte para situações de desastre se tomam maioritariamente com urgência, não assim para os modelos de transporte gerais que tem um plano de programação mais organizado que permite tomar decisões a longos, medianos e curtos prazos. Os modelos de transporte gerais tem sua maior preocupação na otimização de recursos, ou seja, na criação de condições mais favoráveis para o desenvolvimento da atividade em questão. Entretanto, os modelos criados para situações de desastres estão enfocados na obtenção de um melhor rendimento da atividade de transporte e dos recursos, com o mínimo de erros e dispêndios com o intuito de alcançar a maior quantidade de afetados no menor tempo possível para aliviar o sofrimento humano.

4. Conclusões

O problema de roteirização de veículos de emergência é maioritariamente enfocado a minimizar a soma dos tempos de chegada. Outro dos maiores desafios é responder a demanda com o mínimo custo de operação além dos custos sociais, pois na logística humanitária o objetivo fundamental é oferecer o maior nível de serviço no menor tempo possível, o que muitas vezes requer de custos de operações e sociais muito altos.

Mesmo assim, as operações logísticas humanitárias tentam minimizar os custos sociais dos impactos de um desastre, dentro de um contexto de grave escassez. Isso requer a tomada de decisões sobre quem vai e quem não vai receber ajuda, em um dado momento. A maioria dos artigos pesquisados fazem o análise da distribuição de bens ou serviços e alguns tem ligado um modelo de roteirização do transporte para integrar sua análise, além de facilitar o planejamento e otimizar a atuação ao aplicar os modelos. Mas são poucos os que só se dedicam ao análise de transporte ao respeito da roteirização e/ou otimização de rede.

O desenho de rotas tem um papel fundamental na distribuição das equipes que vão a prestar a ajuda ou as que vão realizar sua evacuação, ou simplesmente pessoas que tem que transportar-se para atingir alguma necessidade nas situações de desastre.

Autores	Função objetivo					Técnicas de pesquisa operacional adotadas	Abordagem do análise da demanda	Momento do desastre	
	Min demanda insatisfeita	Min atraso do percurso	Min custos de operação e sociais	Max satisfação da demanda	Max fiabilidade da rota			Pre	Pós
Özdamar, L. et al.(2004)	✓					PLIM	Declaram variáveis para a demanda e demanda insatisfeita de suprimentos de ajuda em cada no.	✓	
Yi, W. e Kumar, A. (2007)		✓				PLIM	Declaram uma variável para a insatisfação da demanda de cada commodity.		✓
Yi, W. e Ozdamar, L. (2007)	✓					PLIM	Declaram variáveis para a demanda insatisfeita de cada commodity e pessoas não atendidas.		✓
Chang , M., Tseng, L. , Chen, J. (2007)		✓				PELIM	A demanda é prevista segundo os cenários declarados (parâmetro).	✓	
Tzeng, G. Cheng, H., Huang, T. D. (2007)		✓	✓	✓		PI	Declaram-se parâmetros para a estimação ou previsão da demanda.		✓
De Angelis, V., Mecoli, M., Nikoi, C., Storch, G. (2007)				✓		PI	Declaram-se parâmetros para a estimação ou previsão da demanda.		✓
Lin et al. (2009)	✓		✓			PI	Definição de variável para a demanda insatisfeita.		✓
Onur Mete, H. e Zabinsky, Z. (2010)		✓				PELIM	Definição de variável para a demanda insatisfeita.	✓	
Nolz, P et al. (2010)		✓				PI	Declaram-se parâmetros para a estimação ou previsão da demanda.	✓	
Perez, N. et al (2010)			✓			PLIM	Declaram-se parâmetros para a estimação ou previsão da demanda.		✓
Han, Y., Guan, X., Shi, L. (2010)		✓			✓	PLIM	Definição de variável para a quantidade enviada ao longo do arco.		✓
Raws, C. G. e Turnquist, M. A. (2010)			✓			PELIM	A demanda segundo os cenários declarados é analisada por o comportamento das variáveis.	✓	
Hu, Z. (2011)			✓			PI (0-1)	Declaram-se parâmetros para a estimação ou previsão da demanda.		✓
Lin et al.(2011)	✓					PLIM	Se fez uma previsão da demanda (parâmetro), definição de variável para a quantidade enviada ao longo do arco.		✓
Wang, H., Du, L., Ma, S. (2014)		✓	✓		✓	PLIM	Definição de variável para a quantidade enviada aos nós.		✓

Tabela 1: Características dos modelos de roteirização e desenho de rota para situações de desastre

Itens de comparação	Modelo geral de transporte	Modelo de transporte para situações de desastre
Objetivos dos modelos	Minimizar o tempo da viagem, o custo de usuário e de operador, o tamanho da frota. (Cipriani et al., 2012), (Medina et al., 2013), (Amiripour et al., 2014), (Nikolic' e Teodorovic', 2014).	Minimizar o tempo de entrega dos suprimentos prioritários, o tempo de espera das pessoas feridas ou necessitadas o custo de transporte. Maximizar a eficiência. (Yi, W. e Kumar, A.,2007),(Lin et al., 2009), (Onur Mete, H. e Zabinsky, Z.,2010), (Perez, N. et al ,2010)
Dimensões do rol	Pontos de origem ou destino (fabrica, rodoviária, parada de ônibus, armazém, etc.) Pontos de transferência Clientes Redes de transporte (Fan and Machemehl, 2011), (Bagloee and Ceder, 2011), (Yu et al. ,2012), (Amiripour et al., 2014)	Pontos de coleta de commodities ou pessoas Depósitos de transferência de commodities ou de evacuação de pessoas Pontos de demanda das commodities Redes de transporte (De Angelis, V., et al., 2007) (Yi, W. e Ozdamar, L., 2007),(Lin et al. (2009), (Lin et al.,2011),
Características da rede	Rede regular (Szeto and Jiang, 2012),(Yu et al. ,2012), (Medina et al., 2013)	Rede temporária (Raws, C. G. e Turnquist, M. A.,2010), (Lin et al., 2009), (Onur Mete, H. e Zabinsky, Z.,2010), (Perez, N. et al. ,2010)
Plano de programação	Longo prazo: Localização (Ceder, 2003), (Hu et al., 2005) Mediano prazo: Tamanho da frota (Szeto and Wu, 2011),(Zhao and Zeng,2007) Corto prazo: Programação (Fusco et al., 2002), (Wan and Lo ,2003)	Decisões urgentes baseadas nas informações disponíveis (Tzeng, G. Cheng, H., Huang, T. D.,2007),(De Angelis, V., et al. ,2007), (Lin et al., 2009)
Trade-off entre algoritmo-eficiência e otimização	Maior atenção na otimização de recursos (Cipriani et al., 2012), (Szeto and Jiang, 2012), (Medina et al., 2013), (Amiripour et al., 2014),	Maior atenção na eficiência do atendimento (Özdamar, L. et al.,2004), (Yi, W. e Ozdamar, L. ,2007), (De Angelis, V. et al., 2007),(Lin et al.,2011)

Tabela 2: Comparação ente modelos gerais de transporte e modelos de transporte para situações de desastre

É por isso que nestas situações, a roteirização e o desenho de redes de veículos joga um papel importante, pois pode ser um aspecto sensível e vulnerável em situações de desastre; o que representa uma atividade da logística humanitária a potencializar em para futuras pesquisas.

O estudo dos modelos matemáticos apresentados mostra que ainda há uma lacuna entre o que é modelado e o que realmente ocorre no campo em operações de desastres (no ambiente dos desastres). Existem importantes avanços na área, como a inclusão de aspectos humanitários por meio de variáveis de decisão na formulação destes modelos, mas ainda a abordagem está fortemente relacionado com a logística comercial. Contudo, não se verifica a possibilidade de uma utilização direta dos modelos propostos no processo de desastres, com a expectativa de que algum dos problemas identificados seja efetivamente solucionado ou tenha a perspectiva de solução.

Apesar do papel importante da infraestrutura do transporte em recuperação, a literatura existente, raramente relata modalidades de transporte de pós-catástrofe, especialmente durante os estágios de recuperação (Hitomi Nakanishi *et al.*, 2014).

A análise feita também permitiu captar que o sofrimento humano não é adequadamente abordado pelos modelos tratados. O que sem dúvida, tomando em conta o tratado por Holguín Veras *et al.* (2013), reflete raízes logísticas comerciais dos modelos, e de fato que a modelagem tanto no pre e o pós desastre ainda está em estágios iniciais de desenvolvimento. O que representa um dos principais pontos que precisam ser melhorados para motivar os gestores das operações de ajuda a usar modelos matemáticos propostos.

Referências

AMIRIPOUR, S., CEDER, A., MOHAYMANY, A. *Designing large scale bus network with seasonal variations of demand*. Transportation Research Part C 48, 322–338, 2014.

ARGOLLO DA COSTA, S. DE MELLO BANDEIRA, R. A., GOUVÊA CAMPOS, V. B., DE PAULA BANDEIRA, A. F. *Revisão sobre modelagem matemática na logística humanitária*. Transportes. Vol 22.No.2, 2014, pp. 70-84, 2014.

BAGLOEE, S., CEDER, A. *Transit network design methodology for actual-size road networks*. Transportation Research Part B 45, 1787–1804, 2011.

BEAMON, B. M. e BALCIK, B. *Distribution Network Design for Humanitarian Relief Chains*. IE Graduate Seminar, November 8, 2005.

BOZORGI-AMIRI, A., JABALAMELI, M. S., MIRZAPOUR AL-E-HASHEM, S. M. J. *A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty*. OR Spectrum, Vol.35, Pages: 905–933, 2013.

CASTRO, A. L. *Manual de planejamento em defesa civil*. Vol.1. Brasília: Imprensa Nacional. 1999.

- CHANG, M., TSENG, Y., CHEN, J.** *A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty.* Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 43, 737–754, 2007.
- CIPRIANI, E., GORI, S., PETRELLI, M.** *A bus network design procedure with elastic demand for large urban areas.* Public Transport 4, 57–76, 2012.
- DE ANGELIS, V., MECOLI, M., NIKOI, C., STORCHI, G.** *Multiperiod integrated routing and scheduling of World Food Program cargo planes in Angola.* Computers & Operations Research, Vol. 34, pp.1601–1615, 2007.
- FAN, W., MACHEMEHL, R.** *Bi-level optimization model for public transportation network redesign problem.* Transportation Research Record 2263, 151–162, 2011.
- GUHA-SAPIR, D., HOYOIS, P., BELOW, R.** *Annual Disaster Statistical Review 2012: The numbers and trends.* Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Brussels: CRED; 2013.
- HAN, Y., GUAN, X., SHI, L.** *Optimal supply location selection and routing for emergency material delivery.* International Conference on Information, Networking and Automation (ICINA). 2010.
- HOLGUÍN-VERAS, J., PÉREZ, N., JALLER, M., VAN WASSENHOVE, L., AROS-VERA, F.** *On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models.* Journal of Operations Management 31 (2013) 262–280.
- HU, Z.** *A container multimodal transportation scheduling approach based on immune affinity model for emergency relief.* International Journal Expert Systems with Applications. Vol. 38, pp. 2632–2639, 2011.
- KOVACS, G. e SPENS, K.** *Humanitarian logistics in disaster relief operations.* International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 37, n. 2, p. 99-114, 2007.
- LIN, Y. H. BATTA, R. ROGERSON, P. A. BLATT, A. FLAN-IGAN, M.** *Application of a Humanitarian Relief Logistics Model to an Earthquake Disaster.* Transportation Research Record. 2009.
- LIN, Y.H., BATTA, R., ROGERSON, P.A., BLATT, A., FLANIGAN, M., LEE, K.** *A Logistics Model for Emergency Supply of Critical Items in the Aftermath of a Disaster.* Socio-Economic Planning Sciences Volume 45, Issue 4, December 2011, Pages 132–145
- MEDINA, M., GIESEN, R., MUÑOZ, J.** *Model for the optimal location of bus stops and its application to a public transport corridor in Santiago, Chile.* Transportation Research Record 2352, 84–93, 2013.
- NATARAJARATHINAM, M.; CAPAR, I. E NARAYANAN, A.** *Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights.* International Journal of Physical Distribution and Logistics Management. Vol. 39, No.7, pp.535-573, 2009.
- NIKOLIC', M., TEODOROVIC', D.** *A simultaneous transit network design and frequency setting: computing with bees.* Expert Systems with Applications 41, 7200–7209, 2014.
- NOLZ, P. et al.** *A Bi-objective Metaheuristic for Disaster Relief Operation Planning.* Advances in Multi-Objective Nature Inspired Computing Studies in Computational Intelligence. Vol. 272, pp. 167-187, 2010.
- ONUR METE, H. e ZABINSKY, Z.** *Stochastic Optimization of Medical Supply Location and Distribution in Disaster Management.* International Journal of Production Economics, pp 76–84, 2009.

ÖZDAMAR, L., EKINCI, E., KÜC, ÜKYAZICI, B. *Emergency logistics planning in natural disasters.* Annals of Operations Research 129 (1), 217–245, 2004.

PEREZ, N. et al. *Integrated Vehicle Routing Problem With Explicit Consideration Of Social Costs In Humanitarian Logistics.* Politecn Institute, 2010.

RAWLS, C.G., TURNQUIST, M.A. *Pre-positioning of emergency supplies for disaster response.* Transportation Research Part B: Methodological 44 (4), 521–534, 2010.

SZETO, W., JIANG, Y. *Hybrid artificial bee colony algorithm for transit network design.* Transportation Research Record 2284, 47–56, 2012.

THOMAS, A.S. *Humanitarian Logistics: Enabling Disaster Response.* Fritz Institute. 2003.

THOMAS, A. MIZUSHIMA, M. *Logistics training: Necessity or luxury Forced Mitigation Review.* Vol.22, pp. 60–61, 2005.

TIERNEY, K., BRUNEAU, M. *Conceptualizing and Measuring Resilience: A Key to Disaster Loss Reduction.* Journal of the Transportation Research Board. Vol.257, pp.14-17, 2007.

TZENG, G., CHENG, H., HUANG, T.D. *Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems.* Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 43, 673–686, 2007.

VAN WASSENHOVE, L. *Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear.* Journal of the Operational Research Society. Vol.57, pp.475-498, 2006.

WANG, H., DU, L., MA, S. *Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake.* Transportation Research Part E 69 (2014) 160–179.

YI, W. e KUMAR, A. *Ant colony optimization for disaster relief operations.* Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Volume 43, No. 6, pp. 660–672, 2007.

YI, W., ÖZDAMAR, L. *A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities.* European Journal of Operational Research 179 (3), 1177–1193, 2007.