

CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA DISTRIBUIÇÃO DE SUPRIMENTOS EM AÇÕES HUMANITÁRIAS

Luísa Brandão Cavalcanti

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Logísticos, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado Travessa 2, 128; Cidade Universitária – São Paulo/SP
luisa.cavalcanti@usp.br

Adriana Leiras

Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rua Marquês de São Vicente, 225; Gávea – Rio de Janeiro/RJ
adrianaleiras@puc-rio.br

Hugo T. Y. Yoshizaki

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado Travessa 2, 128; Cidade Universitária – São Paulo/SP
hugo@usp.br

André B. Mendes

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Melo Moraes, 2231; Cidade Universitária – São Paulo/SP
andbergs@usp.br

Gilberto Montibeller

London School of Economics
Houghton St, London WC2A 2AE, Reino Unido
g.montibeller@lse.ac.uk

RESUMO

A crescente ocorrência de desastres, afetando a vida de grande parte da população mundial, torna as desafiadoras ações humanitárias de socorro às vítimas ainda mais importantes. Para o desenvolvimento de modelos de apoio à decisão adequados à logística de operações humanitárias, é importante que sejam identificados critérios de desempenho que melhor se adequem à realidade de desastres. Nesse sentido, o presente artigo apresenta uma revisão da literatura relacionada à roteirização de veículos para distribuição de suprimentos durante resposta a desastres, com intuito de levantar os objetivos da distribuição abordados na literatura. A análise de conteúdo realizada foca no levantamento dos critérios empregados nas funções objetivo e nas restrições, com posterior agrupamento destes. Conclui-se que critérios relacionados à qualidade da distribuição, do ponto de vista das vítimas, são diretrizes mais recorrentes do que minimização de custos ou eficácia da entrega.

PALAVRAS-CHAVE: Distribuição de suprimentos de alívio; critérios de desempenho; logística humanitária.

Área principal: L&T - Logística e Transportes, ADM - Apoio à Decisão Multicritério.

ABSTRACT

The increasing disaster occurrence, affecting a great part of the world population, makes the challenging humanitarian efforts even more important. In order to develop adequate decision support models to humanitarian logistics, it is important that appropriate performance criteria are identified. Toward this goal, this paper presents a literature review on vehicle routing for cargo distribution applied to disaster response problems, with the intent of bringing up the distribution objectives found in the literature. A content analysis was executed focusing on the enumeration of the criteria found both on objective functions and constraints of the selected models. Furthermore, the criteria were categorized into criteria groups according to the final objective pursued, allowing the conclusion that the distribution quality, from the victims' point of view, is a more recurrent performance measurement than cost minimization or delivery efficacy.

KEYWORDS: Distribution of relief items; performance criteria; humanitarian logistics.

Main Area: L&T - Logistics and Transportation, ADM - Multicriteria Decision Support.

1. Introdução

Desde o início do milênio, a cada ano mais de 300 desastres naturais são registrados, afetando em média 200 milhões de pessoas em todo o mundo (CRED, 2013). No presente trabalho, denomina-se desastre qualquer evento súbito que resulte na ruptura das atividades de uma sociedade ou comunidade e cause perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de maneira que a própria população atingida não consiga se recompor sem auxílio externo (IFRC, 2011). A Logística Humanitária – LH, por sua vez, é definida como conjunto de processos e sistemas envolvidos na mobilização de pessoas, recursos, habilidades e conhecimento para ajudar vítimas de desastres (Van Wassenhove, 2006), e representa 80% das atividades de socorro à população vulnerável (Van Wassenhove, 2006).

Após um desastre, se a população afetada fica impossibilitada de se restabelecer devido à destruição da infraestrutura, organizações de ajuda humanitária deslocam recursos para auxiliar a população vulnerável, caracterizando a fase de atuação humanitária chamada de resposta por Van Wassenhove (2006). Estudos voltados à logística humanitária são importantes para aumentar o conhecimento da área, que está crescendo em termos de número de publicações, mas ainda possui importantes lacunas de conhecimento, de acordo com Overstreet *et al.* (2011). Especificamente em relação ao problema do transporte de suprimentos durante a resposta a desastres de início súbito, em que estado calamitoso se instaura abruptamente, os autores concluem que há necessidade de mais estudos relacionados ao transporte até o consumidor final, a vítima.

Imediatamente após e durante um desastre, é pobre ou inexistente o acesso às informações sobre as condições da infraestrutura local, a quantidade e localização da demanda por suprimentos, o número e as condições das vítimas, e a disponibilidade de recursos locais (Holguín-Veras *et al.* 2012). Tal complexidade motiva a aplicação de Pesquisa Operacional - PO, uma abordagem científica para auxílio na tomada de decisão em sistemas complexos (Altay & Green 2006). Entretanto, uma das questões que surgem com a aplicação de PO às ações humanitárias diz respeito à definição da função objetivo, fundamental para o balanceamento de objetivos conflitantes e alocação de suprimentos escassos (Holguín-Veras *et al.*, 2013). A dificuldade de estabelecer critérios para operações humanitárias aparece também em tentativas de avaliar as operações em si. Beamon e Balcik (2008), por exemplo, fazem uma comparação com as medidas utilizadas em logística empresarial e sugerem métricas para o setor humanitário levando em consideração as diferenças entre os objetivos e os *stakeholders* envolvidos nos dois segmentos.

O presente artigo tem como objetivo levantar os critérios de desempenho encontrados na literatura relacionados à distribuição de suprimentos a vítimas de desastre. Neste texto, o termo critério é utilizado como sinônimo de objetivo, enquanto atributo designa medida utilizada em modelos matemáticos para medir o desempenho em determinado critério. Parâmetros, por sua vez, exprimem valor constante pré-determinado e, se utilizados como meta mínima ou máxima para uma dada variável, também embutem objetivo. Assim, para o levantamento de critérios, foram analisadas tanto funções objetivo como restrições de modelos de otimização da entrega de suprimentos de ajuda humanitária às vítimas de desastres súbitos. A análise das diferentes abordagens para o problema é importante tanto para criticar os modelos, quanto para entender a adaptação dos mesmos à realidade. Ademais, a listagem e o questionamento de objetivos é passo importante para a análise da decisão focada em valores, como descrito por Keeney (1996).

A pesquisa relatada neste trabalho se atém à fase de resposta a desastre, durante a qual a execução de atividades da logística de forma apropriada é de vital importância (Thévenaz e Resodihardjo, 2010). A distribuição em foco refere-se ao transporte de carga entre armazéns e locais de demanda, onde as vítimas do desastre recebem ajuda. Assim, não foram considerados artigos de dimensionamento de estoques ou localização dos mesmos, pressupondo que tais atividades são realizadas antes do desastre, precedendo as ações de designação e roteirização de veículos. A principal contribuição deste artigo é o fornecimento de uma lista de critérios utilizados na abordagem do problema de designação de frota e fluxo de materiais para resposta a desastres de início súbito.

Na seção seguinte, a metodologia para desenvolvimento do presente trabalho é apresentada. Em seguida, na seção 3, o trabalho é contextualizado pela comparação com semelhantes revisões da literatura já publicadas. O desenvolvimento da pesquisa consiste na apresentação do grupo de artigos utilizados na análise de conteúdo (seção 4.1) e posterior enumeração dos critérios encontrados (seção 4.2). A análise dos resultados obtidos no levantamento é feita na seção 4.3, que precede as conclusões do trabalho, na seção 5.

2. Metodologia

A coleta e a análise de dados para a revisão da literatura pertinente foram feitas de acordo com o método conhecido como análise de conteúdo, cujos procedimentos e bases podem ser encontrados em Seuring *et al.* (2005) e, mais resumidamente, em Kunz e Reiner (2012).

Para seleção de artigos publicados em periódicos indexados, apresentando revisão por pares, os termos “*humanitarian logistics*”, “*disaster*”, “*optimization*” e “*distribution*” foram empregados em busca nas bases de dados *Springer Link*, *Emerald Insight* e *Science Direct*. A primeira coleta de artigos foi feita a partir da leitura dos títulos e resumos dos documentos resultantes. Em seguida, foram coletados artigos a partir das citações do material selecionado. Tal procedimento, assim como a escolha das palavras-chave, se assemelha ao de Overstreet *et al.* (2011), Caunhye *et al.* (2012), De La Torre *et al.* (2012) e Altay e Green (2006). Como resultado, foram obtidos 25 artigos, apresentados na seção 4.1.

Para a análise descritiva, foram identificados os autores, título, periódico e ano de publicação, para que se possa avaliar a relevância temporal das publicações, e comparar os artigos selecionados com outras revisões da literatura encontradas. Além disso, foi levantado o tipo de desastre tratado, quando explícito, como feito por Altay e Green (2006). No que diz respeito à modelagem do problema, o tratamento dado às incertezas foi observado, assim como a complexidade do fluxo de cargas. Assim, modelos foram diferenciados entre estocásticos, com incertezas explícitas no tratamento dos dados, ou determinísticos, cujos dados são considerados conhecidos, e a quantidade de cargas foi definida como carga única ou múltipla. É interessante observar que entre os artigos que tratam o produto entregue como item único, há a unidade de carga formada por um combinado de itens de socorro e aquela que representa apenas um produto específico. Semelhantemente, quando a carga é múltipla a unidade pode se referir ao tipo de produto de acordo com sua finalidade, ou a um grupo de produtos que tenham determinada característica em comum (prioridade ou periodicidade de entrega).

Para o levantamento de critérios, foi necessário não só identificar os parâmetros utilizados nas funções dos modelos, como compreender o que se pretendia alcançar com a otimização. Durante o processo de levantamento, foram listados os objetivos expressos nas funções de otimização e impostos em restrições, para cada trabalho. Assim, se um critério ainda não citado fosse encontrado na revisão de um artigo, era adicionada uma categoria para revisão dos artigos ainda não analisados. Posteriormente, os critérios identificados foram classificados de acordo com seu objetivo em seis categorias, definidas a partir da análise do grupo de critérios: eficiência no uso de recursos, eficácia de atendimento da demanda, equidade da distribuição, eficácia de atendimento de prioridades, risco do planejamento e rapidez do atendimento à vítima.

3. Contextualização na literatura

A primeira revisão da literatura encontrada tratando logística humanitária com foco em pesquisa operacional é a de Altay e Green (2006), que tem como intuito identificar as fases e os tipos de desastre mais abordados pelos pesquisadores, sem entrar no mérito das funções objetivo. Em artigo mais recente, Holguín-Veras *et al.* (2013) procuram encontrar uma medida adequada para função objetivo em logística humanitária pós-desastre. Sua revisão da literatura cataloga os modelos analisados de acordo com a natureza de suas funções objetivo, agrupando formulações que consideram custos logísticos, medida tipo *proxy* do sofrimento humano e ambos os tipos de medida simultaneamente. No entanto, os critérios utilizados não são enumerados, e o escopo do trabalho é mais amplo do que o desta pesquisa, abrangendo também a fase de preparação a desastres. Dos 20 trabalhos analisados por Holguín-Veras *et al.* (2013), 13 pertencem ao escopo desta revisão, dos quais um foi excluído por se tratar de tese de doutorado e outro por tratar

roteirização simultaneamente à localização de estoque, dificultando a seleção de critérios relacionados à alocação de veículos para distribuição de suprimentos.

O trabalho de revisão realizado por De La Torre *et al.* (2012) se aproxima mais desta pesquisa pois, com o intuito de entender quais os critérios importantes para a tomada de decisão na roteirização de veículos para entrega de suprimentos de ajuda humanitária em regiões atingidas por desastres, os autores consultaram artigos que apresentam modelos de otimização do problema e fizeram entrevistas com profissionais da área. Porém, o conjunto de artigos analisado por De La Torre *et al.* (2012) é diferente, pois os autores incluíram artigos que abordam a fase de preparação, anterior à ocorrência do desastre, em que o transporte é utilizado como critério para seleção de locais de armazenagem. Dos 29 artigos levantados, somente 16 estão contidos no escopo definido para o levantamento do presente trabalho. Caunhye *et al.* (2012) também revisaram a literatura de otimização voltada para a logística de desastres, tanto na fase de preparação quanto na de resposta. Os autores levantaram 38 artigos, dos quais apenas 11 se encaixam na presente revisão.

4. Critérios de Desempenho

A catalogação dos 25 artigos revisados é apresentada na **Tabela 1**, em que cada artigo recebeu uma etiqueta correspondente, para posterior análise de incidência de critérios. As etiquetas representam a contagem dos artigos cujos critérios foram extraídos, sendo que alguns casos a mesma etiqueta é atribuída a mais de um trabalho porque os modelos matemáticos são muito semelhantes e os trabalhos têm autor(es) em comum. Tal procedimento visa evitar que critérios propostos para os mesmos modelos sejam contados mais de uma vez e erroneamente pareçam ter maior importância.

Artigos cujos modelos não foram criados para um tipo de desastre específico foram classificados como “NE” (não especificado) - coluna 6 da tabela de catalogação. Na coluna seguinte, referente à complexidade com que os suprimentos foram tratados no modelo, os artigos que apresentam em sua modelagem matemática um pacote de diferentes tipos de suprimentos de alívio foram classificados de forma a especificar em quais artigos o modelo considera a distribuição de mais de um tipo de carga (agrupado - múltiplos) dos que consideram apenas um (agrupado - único). Além disso, artigos que lidam com o fornecimento de apenas um tipo de suprimento específico foram catalogados como “único”, enquanto os que tratam cada tipo de suprimento isoladamente receberam o rótulo de “múltiplos”.

4.1. Levantamento de Critérios Presentes na Literatura

A identificação dos critérios foi feita com base na interpretação dos parâmetros e atributos utilizados nas otimizações, considerando as explicações dadas pelos autores do respectivo modelo. O resultado é apresentado na **Tabela 2**, que lista os critérios observados nos 25 artigos e identifica em quais artigos eles aparecem na função objetivo.

A cobertura do atendimento às vítimas é um dos critérios selecionados por Shen *et al.* (2009), que procuram atender o maior número de localidades, dando peso maior a pontos de maior demanda. Semelhantemente, a maximização do atendimento da demanda no modelo de Viswanath e Peeta (2003) foi considerada como maximização da cobertura de atendimento porque o atributo da demanda é atrelado aos pontos geográficos.

A eficiência no uso da frota é o critério que diz respeito ao uso dos recursos disponíveis, avaliado pela capacidade ociosa dos veículos. Já demanda satisfeita e insatisfeita são critérios que estão atrelados à quantidade de carga entregue ao fim do planejamento, independente da sua distribuição no tempo. Quando o tempo em que a demanda é satisfeita entra em questão, três tipos de critérios diferentes são usados na literatura: o atraso para atendimento, medido em demanda insatisfeita a cada intervalo de tempo; a taxa de atendimento a cada intervalo de tempo, dada pela porcentagem da demanda satisfeita a cada intervalo; e o volume de carga entregue rapidamente, obtido pela minimização do intervalo de tempo para realização de entrega vezes a quantidade de itens entregues. O tempo também aparece nos modelos de outras

Tabela 1 Catalogação dos artigos analisados para busca de critérios de desempenho

Etiqueta	Autores	Ano	Título	Periódico	Tipo de Desastre	Suprimentos	Tratamento dos dados
1	Afshar e Haghani	2012	Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations	Socio-Economic Planning Sciences	natural	múltiplos	Determinístico
2	Balcik, Beamon e Smilowitz	2008	Last Mile Distribution in Humanitarian Relief	Journal of Intelligent Transportation Systems	NE	agrupado (múltiplos)	Determinístico
3	Barbarosöglu e Arda	2004	A Two-stage Stochastic Programming Framework for Transportation Planning in Disaster Response	Journal of the Operational Research Society	terremoto	múltiplos	Estocástico e Determinístico
4	Barbarosöglu, Özdamar e Çevik	2002	An Interactive Approach for Hierarchical Analysis of Helicopter Logistics in Disaster Relief Operations	European Journal of Operational Research	NE	múltiplos	Determinístico
5	Berkoune, Renaud, Reik e Ruiz	2012	Transportation in Disaster Response Operations	Socio-Economic Planning Sciences	NE	múltiplos	Determinístico
6	Campbell, Vandenbussche e Hermann	2008	Routing for Relief Efforts	Transportation Science	natural	único	Determinístico
7	De Angelis, Mecoli, Nikoi e Storchi	2007	Multiperiod Integrated Routing and Scheduling of World Food Programme Cargo Planes in Angola	Computers & Operations Research	guerra	agrupado (múltiplos)	Determinístico
8	Haghani e Oh	1996	Formulation and Solution of a Multi-commodity, Multi-modal Network Flow Model for Disaster Relief Operations	Transportation Research Part A: Policy and Practice	NE	múltiplos	Determinístico
9	Hamed, Haghani e Yang	2012	Reliable Transportation of Humanitarian Supplies in Disaster Response: Model and Heuristic	Procedia - Social and Behavioral Sciences	natural	não modelado	Determinístico
10	Huang, Smilowitz e Balcik	2012	Models for Relief Routing: Equity, Efficiency and Efficacy	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	NE	agrupado (único)	Determinístico
11	Lin, Batta, Rogerson, Blatt e Flanigan	2011	A Logistics Model for Emergency Supply of Critical Items in the Aftermath of a Disaster	Socio-Economic Planning Sciences	NE	múltiplos	Determinístico
12	Mete e Zabinsky	2010	Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management	International Journal of Production Economics	terremoto	múltiplos	Estocástico e Determinístico
13	Nolz, Semet e Doerner	2011	Risk Approaches for Delivering Disaster Relief Supplies	OR Spectrum	terremoto e enchentes	único	Estocástico
14	Özdamar	2011	Planning Helicopter Logistics in Disaster Relief	OR Spectrum	NE	múltiplos	Determinístico
	Özdamar e Demir	2012	A Hierarchical Clustering and Routing Procedure for Large Scale Disaster Relief Logistics Planning	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	NE	múltiplos	Determinístico
	Özdamar, Ekinci e Küçükyazici	2004	Emergency Logistics Planning in Natural Disasters	Annals of Operations Research	natural	múltiplos	Determinístico
15	Shen, Dessouky e Ordóñez	2009	A two-stage vehicle routing model for large-scale bioterrorism emergencies	Networks	bioterrorismo	único	Estocástico e Determinístico
16	Sheu	2007	An Emergency Logistics Distribution Approach for Quick Response to Urgent Relief Demand in Disasters	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	natural	múltiplos	Estocástico
17	Tzeng, Cheng e Huang	2007	Multi-objective Optimal Planning for Designing Relief Delivery Systems	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	terremoto	múltiplos	Determinístico
18	Viswanath e Peeta	2003	Multicommodity maximal covering network design problem for planning critical routes for earthquake response	Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board	terremoto	múltiplos	Determinístico
19	Vitoriano, Ortuño e Tirado	2009	HADS, a Goal Programming-based Humanitarian Aid Distribution System	Journal of Multi-Criteria Decision Analysis	NE	agrupado (único)	Determinístico
	Vitoriano, Ortuño, Tirado e Montero	2010	A Multi-criteria Optimization Model for Humanitarian Aid Distribution	Journal of Global Optimization	natural	agrupado (único)	Determinístico
20	Yan e Shih	2009	Optimal Scheduling of Emergency Roadway Repair and Subsequent Relief Distribution	Computers & Operations Research	terremoto	múltiplos	Determinístico
21	Yi e Kumar	2007	Ant Colony Optimization for Disaster Relief Operations	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	NE	múltiplos	Determinístico
	Yi e Özdamar	2007	A Dynamic Logistics Coordination Model for Evacuation and Support in Disaster Response Activities	European Journal of Operational Research	NE	múltiplos	Determinístico

formas, sempre a fim de medir a rapidez do plano de distribuição, através da medição do tempo necessário até a última entrega planejada, duração da viagem mais demorada, e soma das durações ou distâncias percorridas de todas as viagens programadas.

O critério de prioridades é considerado em vários modelos, sendo que a priorização pode ser de acordo com o tipo de item entregue ou de acordo com a localidade da demanda atendida. Lin *et al.* (2011), por exemplo, penalizam o atraso no atendimento da demanda dando peso maior a itens prioritários, o que também é feito por Afshar e Haghani (2012), porém com a consideração a mais da prioridade geográfica. Já Mete e Zabinsky (2010), Yi e Kumar (2007), e Yi e Ozdamar (2007) minimizam a soma da demanda insatisfeita penalizada de acordo com peso do tipo de carga.

A confiabilidade da operação também é abordada em alguns modelos. Nolz *et al.* (2011) a calculam em termos de risco de falhas nas rotas e em número de caminhos alternativos que as rotas possuem. Já Hamedí *et al.* (2012) penalizam o uso de vários caminhões na mesma rota, argumentando que as consequências de um possível problema no percurso são maiores quanto maior o número de recursos alocados a tal percurso, sendo a penalidade devido ao atraso na entrega de itens maior quanto maior o número de vítimas afetadas. Vitoriano *et al.* (2009) e Vitoriano *et al.* (2010) repetem o raciocínio de que a confiabilidade do plano diminui quanto maior a quantidade de veículos percorrendo a mesma rota, mas em contrapartida consideram que a segurança da distribuição é maior, pois comboios de veículos estão menos vulneráveis a saques.

A disparidade de atendimento entre localidades diferentes é critério que visa garantir equidade das entregas, fazendo com que a taxa da demanda atendida em cada ponto seja uniformemente distribuída entre todos os pontos. No mesmo sentido, Huang *et al.* (2012) optaram por também minimizar o desvio padrão do nível de serviço obtido em cada ponto, enquanto Vitoriano *et al.* (2009) e Vitoriano *et al.* (2010) minimizam o pior nível de serviço obtido dentre todos os pontos. Já Tzeng *et al.* (2007) vão além, minimizando o pior nível de serviço obtido dentre todos os pontos a cada intervalo de tempo, de forma a avaliar a equidade ao longo de todo o planejamento.

A investigação das restrições dos modelos foi realizada após primeira revisão das funções objetivo, com a intenção de revelar se otimizações com único critério na função objetivo incluíam outros objetivos nas restrições, como apontado por Holguín-Veras *et al.* (2013). Critérios podem ser apresentados na forma de metas que necessariamente devem ser atendidas. Afshar e Haghani (2012), por exemplo, determinam que para cada um dos pontos, de toda demanda atendida uma porcentagem mínima seja referente a cada tipo de item de alívio, em todos os intervalos de tempo, de maneira a limitar o atraso nas entregas. Os autores também estabelecem que em cada ponto de demanda uma porcentagem mínima dos itens recebidos seja de determinado produto, garantido cumprimento de prioridades. Ainda, a equidade é considerada através de limite mínimo para porcentagem de itens entregues a cada ponto, em relação ao total entregue a todos os pontos. A **Tabela 2** também apresenta os critérios que aparecem nas restrições de cada artigo.

4.2. Análise dos Critérios Levantados

Observando o levantamento de critérios presentes tanto na função objetivo como nas restrições dos modelos analisados, nota-se que há otimizações de critério único. Assim, é importante examinar tais artigos mais detalhadamente, à exceção do modelo de Ozdamar (2011), uma vez que este parece evoluir para o de Ozdamar e Demir (2012), com consideração de mais de um objetivo na otimização.

Barbarosoğlu *et al.* (2002) trataram o problema de distribuição de suprimentos, profissionais de apoio às vítimas e transporte de vítimas a centros médicos com uso de frota de helicópteros. Foram criados dois modelos com relação hierárquica: o superior diz respeito a composição da frota com alocação de pilotos, em nível tático, e minimiza custos; o inferior faz a roteirização dos helicópteros e alocação de suprimentos, com programação de abastecimento, minimizando a duração da viagem de helicóptero mais demorada. Para resolver o problema, os autores utilizam heurísticas e iterativamente chegam a um método hierárquico de decisão com

Tabela 2 Critérios de desempenho encontrados em funções objetivo e restrições, por artigo

	Etiqueta (na horizontal) e referência (na vertical) do artigo																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	21	21	
	Afshar e Haghani (2012)	Balcik <i>et al.</i> (2008)	Barbarosoğlu e Arda (2004)	Barbarosoğlu <i>et al.</i> (2002)	Berkoune <i>et al.</i> (2012)	Campbell <i>et al.</i> (2008)	(De Angelis <i>et al.</i> (2007)	Haghani e Oh (1996)	Hamedi <i>et al.</i> (2012)	Huang <i>et al.</i> (2012)	Lin <i>et al.</i> (2011)	Mete e Zabinsky (2010)	Nolz <i>et al.</i> (2011)	Özdamar (2011)	Özdamar e Demir (2012)	Özdamar <i>et al.</i> (2004)	Shen <i>et al.</i> (2009)	Sheu (2007)	Tzeng <i>et al.</i> (2007)	Viswanath e Peeta (2003)	Vitoriano <i>et al.</i> (2009)	Vitoriano <i>et al.</i> (2010)	Yan e Shih (2009)	Yi e Kumar (2007)	Yi e Özdamar (2007)	
CRITÉRIOS	Incidências em Função Objetivo (FO) e Restrições (R)																									
Custo da operação		FO	FO					FO										FO	FO	R	FO	FO				
Eficiência de uso da frota															FO	FO										
Demanda satisfeita							FO																R			
Demanda insatisfeita			FO								FO	R	FO				FO									
Confiabilidade da operação											FO			FO								FO	FO			
Vulnerabilidade a roubos																						FO	FO			
Disparidade no atendimento de localidades diferentes										FO	FO															
Nível de serviço de cada ponto de atendimento	R						R			FO		R							FO		FO	FO	R			
Entrega para pontos prioritários	FO											FO						FO				FO	FO			
Entrega de itens prioritários	FO	R									FO	FO													FO	FO
Cobertura do planejamento																	FO			FO						
Atraso no atendimento da demanda	FO	FO						FO	FO		FO					FO	R								FO	FO
Taxa de atendimento a cada intervalo de tempo										FO						FO		FO								
Volume de carga entregue rapidamente												FO														
Tempo para realização da última entrega						FO																		FO		
Duração da entrega mais demorada				FO																			FO			
Duração das viagens ou distâncias percorridas para entregas					FO					FO	FO	FO	FO	FO	FO				FO	FO						

múltiplos critérios, no qual um conjunto de soluções não dominadas é apresentada ao decisor, para que este possa eleger a melhor alternativa sabendo os resultados obtidos em termos de custos e tempo. Assim, o critério único só aparece quando apenas o modelo operacional é levado em conta.

Já Berkoune *et al.* (2012) trataram o problema do transporte de itens de ajuda humanitária durante desastres considerando mais de um tipo de veículo e múltiplos produtos. Os autores utilizaram o CPLEX para obter soluções otimizadas do problema, com o único objetivo de atender a demanda no menor tempo, sem considerar qualquer tipo de prioridade. Também desenvolveram duas heurísticas para o problema, de forma a resolver redes maiores em menor tempo. O objetivo considerado foi o de minimizar o tempo total de transporte para atender a demanda, motivado pelo perigo de vida que as vítimas correm se o atendimento tardar. Para medir o desempenho nesse critério, o atributo selecionado foi a soma da duração das viagens de todos os veículos para atender toda a demanda. Uma hipótese importante aqui é a de que a oferta supera a demanda, o que muitas vezes não ocorre em situações reais. Há, além dessa, a hipótese implícita de que o atendimento das demandas por diferentes itens tem o mesmo peso, o que também pode ser discutido. Campbell *et al.* (2008) determinam que o objetivo da roteirização em logística humanitária é chegar ao beneficiário o mais rápido possível. Dois atributos são testados para o mesmo objetivo: soma dos tempos de chegadas aos pontos de demanda, e tempo mais tardio em que entrega é realizada. Os autores se limitaram à questão da distribuição de único produto, com frota homogênea de capacidade definida, mas concluem que objetivos como equidade e eficiência na distribuição de múltiplos produtos, assim como confiança do planejamento devido ao colapso da infraestrutura local, são objetivos que devem ser buscados na logística humanitária. Assim os próprios autores questionam a questão do objetivo único para a área.

Lendo a **Tabela 2** coluna-a-coluna, nota-se que não foi encontrado nenhum artigo de objetivo único com minimização de custos, o que está de acordo com o esperado em logística humanitária na fase de resposta a desastres. O uso de objetivos relacionados à minimização de custos deve ser observado com cautela, já que este tipo de objetivo parece ser sempre acompanhado de critérios relacionados à qualidade do atendimento às vítimas. Mesmo no modelo de Haghani e Oh (1996), cuja função objetivo somente minimiza custos, os autores criaram um parâmetro que representa o custo fictício de carregar a demanda no tempo, e assim acabam por penalizar o atraso da demanda. O mesmo artifício do uso de custo para penalizar atraso na satisfação da demanda é utilizado por Balcik *et al.* (2008), e semelhantemente por Barbarosoğlu e Arda (2004) para penalizar a demanda não atendida ao final do planejamento. A **Tabela 3** mostra o agrupamento de critérios de acordo com objetivos mais abrangentes. As incidências dos grupos de critérios também é apresentada, tanto na função objetivo como nas restrições.

A eficiência no uso de recursos abrange critérios cujos parâmetros envolvem o custo da operação ou a taxa de uso dos veículos disponíveis. Foi considerado que intrínseca a estes critérios está a necessidade de fazer o máximo possível com o que o planejador possui. Contudo, que ao utilizar maior número de veículos, a distribuição é mais eficiente em termos do tempo necessário para atender as vítimas, porém é menos eficiente em relação aos custos de transporte; por outro lado, se for desejado utilizar os veículos sempre com carga cheia, deve-se chegar a um uso mais eficiente desse recurso, em contrapartida o tempo para realização da distribuição deve ser maior, e os custos também sofrerão consequências. Muitos modelos não explicitam o *trade-off* entre número de veículos e tempo de atendimento, e ao tratar de apenas um desses critérios na função objetivo e nas restrições acabam por assumir que o tomador da decisão está disposto a abrir mão do critério que foi deixado de lado, o que não necessariamente é verdadeiro. Ademais, é possível que haja relação entre o risco associado ao planejamento e a eficiência do uso de recursos, caso a importância de fazer uma roteirização segura for relacionada ao mau uso dos veículos, do dinheiro e do tempo disponíveis, porém tais critérios foram agrupados separadamente uma vez que tal associação não está explícita nos textos consultados.

A eficácia no atendimento da demanda aparece menos frequentemente do que a rapidez de atendimento. Foram interpretadas como eficácia de atendimento a cobertura do plano em

relação à área atingida, e medidas de maximização da demanda satisfeita ou minimização da insatisfeita que não mencionam diretamente o tempo para atendimento ou prioridades, como encontrado em De Angelis *et al.* (2007), Nolz *et al.* (2011) e Sheu (2007).

Tabela 3 Agrupamento de critérios e suas incidências na literatura analisada

Critério	Incidência em funções objetivo	Incidência em restrições	Grupo de Critérios	Incidência em função objetivo	Incidência em restrições	Total
Entrega para pontos prioritários	4	1	Eficácia no atendimento de prioridades	8	3	11
Entrega de itens prioritários	4	2				
Demanda satisfeita	1	1	Eficácia de atendimento da demanda	7	2	9
Demanda insatisfeita	4	1				
Cobertura do planejamento	2	0				
Custo da operação	6	2	Eficiência de uso de recursos	7	2	9
Eficiência de uso da frota	1	0				
Disparidade no atendimento de localidades diferentes	2	0	Equidade da distribuição	5	5	10
Nível de serviço de cada ponto de atendimento	3	5				
Atraso no atendimento da demanda	7	2	Rapidez do atendimento à vítima	23	2	25
Taxa de atendimento a cada intervalo de tempo	3	0				
Volume de carga entregue rapidamente	1	0				
Tempo para realização da última entrega	2	0				
Duração da entrega mais demorada	2	0				
Duração das viagens ou distâncias percorridas para entregas	8	0	Risco do planejamento	4	2	6
Confiabilidade da operação	3	1				
Vulnerabilidade a roubos	1	1				
Complexidade da rota	0	0				

Nos casos em que o atraso na entrega ou medidas de tempo das operações é escolhido como atributo, revela-se que qualidade do atendimento tem forte relação com o tempo, e não com a eficácia em si, pois a falta de determinados itens em um período de tempo pode significar grande sofrimento ou morte das vítimas. Ademais, o atendimento de prioridades aparece com alta incidência nos textos, seja pela priorização de itens em detrimento de outros, seja pela maior urgência de atendimento de um ponto. Em ambas as abordagens, a justificativa dada pelos autores é de que as consequências de não atender as prioridades são, também, maior sofrimento humano. A equidade geográfica da distribuição também aparece nos modelos, sendo o alcance de uma porcentagem mínima de atendimento da demanda o atributo mais utilizado para este critério. Entretanto, a medição das disparidades entre porcentagem de demanda satisfeita em dois pontos diferentes vai no mesmo sentido, podendo ser medida mais direta para este mesmo tipo de critério.

Considerando os dados apresentados na **Tabela 3**, nota-se que a rapidez no atendimento parece ser o critério que recebe maior importância na literatura, com muito mais aparições do que todos os outros. Mesmo que o risco do planejamento esteja atrelado à eficiência no uso dos recursos, o objetivo de maior incidência se mantém. A qualidade da distribuição, englobando aspectos como equidade de atendimento, rapidez no acesso às vítimas, e atenção maior aos itens mais importantes e locais mais prejudicados, parece ter mais peso em logística humanitária e faz frente a critérios mais tradicionais da logística empresarial, que englobam eficiência de uso de recursos e eficácia de atendimento de pedidos. Assim, critérios de uso de recursos somados aos de eficácia de atendimento à demanda contabilizam 18 aparições nos modelos analisados, enquanto equidade, prioridades e rapidez são ideias por trás de 46 dos critérios identificados.

Outra interpretação possível a partir dos dados da **Tabela 3** diz respeito ao ponto de vista aos quais os critérios foram definidos para atender. Otimizações de equidade e rapidez parecem adotar o ponto de vista da vítima. Por sua vez, critérios que avaliam risco do planejamento, eficiência de uso de recursos e eficácia de atendimento da demanda parecem otimizar o processo para as organizações humanitárias, com intuito de justificar para os doadores o uso dos recursos empregados. Já os interesses relacionando às prioridades são de mais difícil interpretação nesse caso, pois a preocupação com atendimento de prioridades pode tanto estar relacionada ao sofrimento da vítima, como ao atendimento de restrições impostas por

autoridades, caso em que o ponto de vista adotado seria o das organizações humanitárias. Levando em conta tais hipóteses, o ponto de vista das vítimas parece receber mais peso, pois aparece mais vezes na literatura (35 contra 24). É importante ressaltar que os modelos não adotam apenas um ponto de vista necessariamente, podendo considerar o impacto da distribuição sentido tanto pelos beneficiários como pelas organizações.

Da análise individual dos critérios, sem considerar o agrupamento realizado neste trabalho, poderia ser obtida a conclusão de que o custo da operação é critério de grande peso, uma vez que é o terceiro de maior incidência dentre todos os encontrados. Entretanto, o agrupamento realizado mostra que critérios associados à eficiência de uso dos recursos, incluindo o custo, aparecem com incidência muito menor do que os que se referem à rapidez de atendimento. Ainda, se fossem examinadas somente as funções objetivo dos modelos, a eficiência de uso de recursos apareceria em terceiro lugar em número de incidências, mais caí para quarto quando os critérios encontrados nas restrições são levados em conta.

5. Conclusões

Para o desenvolvimento de modelos adequados ao contexto de LH, é importante que sejam definidos critérios que melhor se adequem à realidade de desastres (Holguín-Veras *et al.*, 2012). Um primeiro passo é observar o que já foi empregado em modelos encontrados na literatura, para que sejam identificados pontos que foram pouco ou muito abordados e oportunidades de expansão do conhecimento, uma vez que o estado da arte hoje está defasado em relação à logística empresarial (Holguín-Veras *et al.*, 2012). Nesse sentido, o presente artigo faz um levantamento dos critérios de desempenho empregados na definição de funções objetivo, exclusivamente para modelos que tratam da roteirização de veículos para distribuição de suprimentos na fase de resposta a desastres.

Foram encontradas 25 publicações, nas quais 18 critérios foram identificados. Ao avaliar os modelos, nota-se que a ampla maioria lida com mais de um objetivo, mesmo que isto não seja explícito na função objetivo, indicando que ferramentas de análise da decisão com múltiplos critérios podem ser aplicáveis com vantagem ao problema do transporte atrelado à distribuição de carga no pós-desastre. Em relação aos critérios identificados, nota-se uma tendência maior no emprego de formulações que aumentem a rapidez de atendimento à vítima, indicando que a responsividade da cadeia logística continua sendo a maior preocupação dos pesquisadores, como apontado por Caunhye *et al.* (2012) para o pós-desastre. Além disso, o impacto do planejamento para os beneficiários parece ser mais considerado nos modelos do que o impacto para as organizações humanitárias.

O custo, ao contrário do que era esperado dado o caráter emergencial da resposta a desastres, foi o segundo critério de maior incidência. Entretanto, a análise do objetivo final por trás dos critérios indica que a qualidade da distribuição, em termos de tempo para as entregas, equidade e atendimento das prioridades, revela-se mais importante do que os recursos empregados para a atividade. A baixa incidência de modelos que consideram a vulnerabilidade a roubos parece indicar que aversão ao risco continua pouco explorada pelos problemas de PO, como observado por De La Torre *et al.* (2012). Tais resultados, que colocam o custo em segundo plano, atrás de medidas de minimização da demanda não atendida a cada intervalo de tempo, se contrapõem às observações feitas por Holguín-Veras *et al.* (2013). Por outro lado, a afirmação destes autores de que o sofrimento humano é abordado com uso de medidas aproximadas (“*proxy approaches*”) é confirmado na análise da literatura realizada neste trabalho.

O presente artigo fornece dados para consulta do modelador interessado no que já foi aplicado para este tipo de problema, especificando a forma como os diferentes tipos de suprimentos foram (ou não foram) levados em conta, embora as técnicas utilizadas na otimização não tenham sido catalogadas. Ademais, este trabalho serve como base de comparação para análise dos critérios nas demais fases de desastres, e também como fonte para consulta de profissionais da área que queiram pesquisar sobre o emprego de determinado critério em modelos de resposta de LH. Algumas das publicações abordadas aqui tratam, além da distribuição, da questão do posicionamento de estoques, mostrando que as fases de planejamento e resposta

aparecem juntas em alguns casos. Sendo assim, a revisão da literatura referente ao planejamento de estoques pode dar outra caracterização para a distribuição de incidências dos critérios encontrada neste trabalho.

Referências

- Afshar, A. e Haghani, A.** (2012), Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(4), 327–338.
- Altay, N. e Green, W.G.** (2006), OR/MS research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475–493.
- De Angelis, V., Mecoli, M., Nikoi, C. e Storchi, G.** (2007), Multiperiod integrated routing and scheduling of World Food Programme cargo planes in Angola, *Computers & Operations Research*, 34(6), 1601–1615.
- Balcik, B., Beamon, B. e Smilowitz, K.** (2008), Last Mile Distribution in Humanitarian Relief, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51–63.
- Barbarosoğlu, G. e Arda, Y.** (2004), A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response, *Journal of the Operational Research Society*, 55(1), 43–53.
- Barbarosoğlu, G., Özdamar, L. e Çevik, A.** (2002), An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations, *European Journal of Operational Research*, 140(1), 118–133.
- Beamon, B.M. e Balcik, B.** (2008), Performance measurement in humanitarian relief chains, *International Journal of Public Sector Management*, 21(1), 4–25.
- Berkoune, D., Renaud J., Rekik, M. e Ruiz A.** (2012), Transportation in disaster response operations, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 23–32.
- Campbell, A.M., Vandenbussche, D. e Hermann, W.** (2008), Routing for Relief Efforts, *Transportation Science*, 42(2), 127–145.
- Caunhye, A.M., Nie, X. e Pokharel, S.** (2012), Optimization models in emergency logistics: A literature review, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 4–13.
- CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters** (2013), Disaster Trends, *EM-DAT - The International Disaster Database* (<http://www.emdat.be/database>), acesso em agosto de 2013.
- Haghani, A. e Oh, S.-C.** (1996), Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30(3), 231–250.
- Hamedi, M., Haghani, A. e Yang, S.** (2012), Reliable Transportation of Humanitarian Supplies in Disaster Response: Model and Heuristic, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 1205–1219.
- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N. e Aros-Vera, F.** (2013), On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models, *Journal of Operations Management*, 31(5), 262–280.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N. e Wachtendorf, T.** (2012), On the unique features of post-disaster humanitarian logistics, *Journal of Operations Management*, 30(7-8), 494–506.
- Huang, M., Smilowitz, K. e Balcik, B.** (2012), Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 2–18.
- IFRC - International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies** (2013), What we do, *What is a disaster?* (<http://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/what-is-a-disaster/>), acesso em agosto de 2013.
- De la Torre, L.E., Dolinskaya, I.S. e Smilowitz, K.R.** (2012), Disaster relief routing: Integrating research and practice, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 88–97.
- Keeney, R. L.** *VALUE-FOCUSED THINKING*, Harvard University Press, 1996.
- Kunz, N. e Reiner, G.** (2012), A meta-analysis of humanitarian logistics research, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2(2), 116–147.

- Lin, Y.-H. Batta, R., Rogerson, P. A., Blatt, A. e Flanigan, M.** (2011), A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster, *Socio-Economic Planning Sciences*, 45(4), 132–145.
- Mete, H. O. e Zabinsky, Z. B.** (2010), Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management, *International Journal of Production Economics*, 126(1), 76–84.
- Nolz, P. C., Semet, F. e Doerner, K. F.** (2011), Risk approaches for delivering disaster relief supplies, *OR Spectrum*, 33(3), 543–569.
- Overstreet, R. E., Hall, D., Hanna, J. B., Rainer Jr., R. K.** (2011), Research in humanitarian logistics, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2), 114–131.
- Özdamar, L.** (2011), Planning helicopter logistics in disaster relief, *OR Spectrum*, 33(3), 655–672.
- Özdamar, L. e Demir, O.** (2012), A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(3), 591–602.
- Özdamar, L., Ekinci, E. e Küçükyazici, B.** (2004), Emergency Logistics Planning in Natural Disasters, *Annals of Operations Research*, 129(1-4), 217–245.
- Seuring, S., Müller, M., Westhaus, M. e Morana, R.**, Conducting a Literature Review – The Example of Sustainability in Supply Chains, em Physica-Verlag (Eds.), *Research Methodologies in Supply Chain Management*, Heidelberg - Alemanha, 91 – 106, 2005.
- Shen, Z., Dessouky, M. e Ordóñez, F.** (2009), A two-stage vehicle routing model for large-scale bioterrorism emergencies, *Networks*, 54(4), 255-269.
- Sheu, J.-B.** (2007), An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43, 687–709.
- Thévenaz, C. e Resodihardjo, S. L.** (2010), All the best laid plans...conditions impeding proper emergency response, *International Journal of Production Economics*, 126(1), 7–21.
- Tzeng, G.-H., Cheng, H.-J. e Huang, T. D.** (2007), Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43, 673–686.
- Viswanath, K. e Peeta, S.** (2003), Multicommodity maximal covering network design problem for planning critical routes for earthquake response, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1857(1), 1–10.
- Vitoriano, B., Ortuño, M.T., Tirado, G., Montero, J.** (2010), A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution, *Journal of Global Optimization*, 51(2), 189–208.
- Vitoriano, B., Ortuño, M.T. e Tirado, G.** (2009), HADS, a goal programming-based humanitarian aid distribution system, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 16(2009), 55–64
- Van Wassenhove, L.N.** (2006), Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear, *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475–489.
- Yan, S. e Shih, Y.** (2009), Optimal scheduling of emergency roadway repair and subsequent relief distribution, *Computers & Operations Research*, 36, 2049–2065.
- Yi, W. e Kumar, A.** (2007), Ant colony optimization for disaster relief operations, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 660–672.
- Yi, W. e Özdamar, L.** (2007), A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities, *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1177–1193.