

OBJETIVOS CONFLITANTES NA PREPARAÇÃO E RESPOSTA A DESASTRES: PERSPECTIVAS SOBRE A MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS E MAXIMIZAÇÃO DA COBERTURA

Lucas Condeixa

Department of Mathematics and Systems Analysis – Aalto University
Otakaari 1, Espoo - Finlândia
lucas.condeixa@aalto.fi

Adriana Leiras

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio
Rua Marquês de São Vicente, 225 – Gávea, Rio de Janeiro - RJ
adrianaleiras@puc-rio.br

Fabício Oliveira

Department of Mathematics and Systems Analysis – Aalto University
Otakaari 1, Espoo - Finlândia
fabricao.oliveira@aalto.fi

RESUMO

Devido às dificuldades encontradas na ocorrência de um desastre, a logística humanitária utiliza-se de diversas técnicas e teorias para pautar a decisão. Alguns modelos de otimização têm servido satisfatoriamente como ferramenta de apoio nas operações humanitárias atualmente. Este estudo se propõe a enriquecer a discussão sobre os possíveis objetivos conflitantes na logística humanitária e exemplifica através de dois modelos de otimização estocástica como a minimização de custos ou a minimização do número de faltas podem ser utilizados para auxiliar o tomador de decisão. Adicionalmente, analisam-se os efeitos que a sensibilidade ao risco econômico pode provocar na operação através de um terceiro modelo. Ao se otimizar o problema de pré-posicionamento e primeiro atendimento, conclui-se que a política de busca pelo menor custo e a política de busca pelo menor número de faltas possuem vantagens e desvantagens sob o ponto de vista humanitário sendo que uma não deveria ser preterida *a priori*.

PALAVRAS CHAVE. Preparação para desastres, Minimização de custos, Minimização da falta.

ABSTRACT

Due to the difficulties found in disaster occurrences, humanitarian logistics use diverse techniques and theories to guide decisions. Some optimization models have presently served satisfactorily as a decision support tool in humanitarian operations. The current study proposes to enrich the discussion concerning the possibly conflicting objectives in humanitarian logistics and it exemplifies, using two stochastic optimization models, how cost minimization or shortage minimization can be used to help the decision maker. Additionally, the effects of economic risk sensitivity in humanitarian operations are analyzed through a third model. Optimizing the pre-positioning and first service problem, the conclusion is that the policy of minimal cost pursuit and the policy of minimal shortage pursuit have advantages and disadvantages from the humanitarian point of view in a way that one should not be deprecated *a priori*.

KEYWORDS. Disaster preparedness, Cost Minimization, Shortage Minimization.

1. Introdução

A gestão de um desastre compreende diversas atividades relacionadas à habilidade das organizações envolvidas em manter as consequências do desastre sob controle. As vítimas de um desastre são pessoas que usualmente não conseguiriam reagir a um desastre sem o amparo de catalisadores de recursos como ONGs, organizações filantrópicas ou setores governamentais. Desta forma, estas organizações possuem o papel de, na ocasião de uma calamidade, se adaptar às necessidades da população afetada de maneira rápida e efetiva. Considerando-se a amplitude de cenários possíveis de serem encontrados após a ocorrência de um desastre e o custo de se manter alinhado com as necessidades das vítimas, as operações humanitárias não podem ser planejadas de maneira trivial.

A Pesquisa Operacional (PO) tem provido ferramentas auxiliares no processo de decisão de organizações humanitárias na busca de auxiliar comunidades ao redor do mundo a reagir e se prevenir das consequências de desastres [Hoyos et al. 2015]. A crescente área da Logística Humanitária (LH) concentra direcionamentos a serem adotados nas quatro fases de um desastre, sendo estas a mitigação, preparação, resposta e recuperação [Leiras et al. 2014]. Mais especificamente, na vertente quantitativa, muitos modelos utilizando práticas da PO foram propostos na última década, como demonstrado por [Hoyos et al. 2015]. Entre as funções da LH tratadas pelas técnicas de PO estão a localização de instalações de emergência, distribuição de bens de assistência, transporte de casualidades, entre outros [Caunhye et al. 2012]. O presente estudo se baseia nas decisões referentes à preparação para um desastre e distribuição nas primeiras 72h após o mesmo, através do problema de pré-posicionamento e primeiro atendimento (PPPA).

Devido à base comum com a logística tradicional comercial [Van Wassenhove, 2006], muitos objetivos coincidem nos modelos de otimização apresentados na LH. Uma das características que separa a LH da logística comercial são as condições de atendimento encontradas após a ocorrência do desastre. Devido a isto, muitos modelos de otimização estocástica são propostos em literatura, cabendo o destaque à programação estocástica de dois estágios [Grass et al. 2016].

No que se refere às similaridades com o mundo comercial, de acordo com [Vitoriano et al. 2011], as diretivas comuns com a logística comercial são aplicáveis na LH contanto que outros objetivos que não seja a lucratividade sejam estabelecidos. Nesta perspectiva, as decisões a serem tomadas na LH podem assumir múltiplas prioridades formando objetivos por vezes conflitantes. Como pode ser visto em estudos como [Overstreet et al. 2011], [Caunhye et al. 2012] e [Özdamar e Ertem 2015], a minimização de custos, considerando-se também o custo da falta, tem sido preponderante nos modelos previamente propostos. Apesar de difundida, a minimização dos custos da falta com o fim de se evitar o não-atendimento da demanda pode ser considerada contraditória em sua natureza pela atribuição de um valor numérico ao sofrimento humano [Turkeš et al. 2017].

Ainda que o objetivo principal da LH não seja a busca pelo lucro, o financiamento pode impactar as operações humanitárias uma vez que pode restringir os meios possíveis de assistência às vítimas ou o quão rápido o atendimento pode ocorrer. [Burkart et al. 2016] apresentaram uma extensa revisão de literatura relacionada às atividades de financiamento da LH e suas relações, positivas e negativas, com três atributos de performance: a eficiência, a efetividade e a equidade. Um ponto levantado pelos autores é de que eventualmente doadores não estão dispostos a financiar o pré-posicionamento de produtos emergenciais uma vez que haja limitações orçamentárias na operação. Esta utilização de vertentes de desempenho como eficiência, efetividade e equidade (3E) pode se tornar estratégica para se construir uma base comum de avaliação das operações na LH.

As diferentes formas de análise do sucesso operacional na LH podem ser sintetizadas através da utilização dos 3E. Alguns estudos utilizaram estes atributos para análise dos efeitos da gestão de recursos voltados para o bem-estar social, incluindo a LH, como pode ser visto em [Tzeng et al. 2007] e [Rezaei-Malek et al. 2016]. Em [Tzeng et al. 2007], a eficiência é representada pelos custos de transporte e abertura de depósitos; a efetividade, pelo tempo de atendimento; e a equidade, pelo mínimo nível de atendimento. Além disso, uma abordagem de programação linear fuzzy multi-objetivo é proposta utilizando uma abordagem max-min de otimização desses três

objetivos. Ao contrário da eficiência da operação, que se define basicamente pelos custos da operação, a efetividade da operação pode ser relacionada a vários aspectos da operação como nível de cobertura do serviço, velocidade de resposta, segurança da população afetada por uma calamidade, entre outros. [Rezaei-Malek et al. 2016] utilizam-se de uma visão utilitária para mensurar a efetividade através de uma função do tempo de atendimento e do percentual de demanda a ser atendida. Como resultado do estudo, os autores obtêm uma fronteira de Pareto para os três objetivos propostos sendo cada um destes relacionado a um dos 3E. [Gutjahr e Nolz 2016] fazem uma revisão das diferentes abordagens multicritério aplicadas em problemas humanitários, onde os 3E são refinados em 8 objetivos comuns em literatura: custo, tempo de resposta, distância, nível de cobertura, confiabilidade dos meios de atendimento, segurança do suprimento, equidade e privação.

Tendo-se em vista os diferentes objetivos a que se pode almejar na LH, há de se estabelecer quais são as prioridades dos beneficiários. Desta forma, podem surgir objetivos em problemas de otimização que mesmo que importantes no atendimento humanitário podem vir a ser conflitantes entre si. Uma discussão levantada em [Turkeš et al. 2017] se refere a priorização em literatura da minimização dos custos ao invés da maximização da cobertura. Os autores indicam que na LH a minimização do número de faltas – esta equivalente à maximização da cobertura – deveria ser prioritária no lugar da minimização de custos, uma vez que esta tem de atribuir um valor econômico ao sofrimento humano – aqui designado como o custo da falta.

A relevância do presente estudo reside no aprofundamento desta discussão sobre a priorização da maximização da eficiência (i.e. minimização de custos) ou da maximização da efetividade (i.e. minimização da falta). Além disso, analisamos o efeito da sensibilidade ao risco financeiro, assemelhando o resultado à perspectiva de um tomador de decisão (TD) de uma organização comercial tradicional (i.e., não humanitária). Outros estudos na área de PO aplicada à LH consideram esta vertente de risco na análise da resposta a um desastre, como pode ser visto em [Noyan 2012], [Alem et al. 2016] e [Condeixa et al. 2017].

Contando a contribuição dos trabalhos supracitados, o presente estudo auxilia a discussão fomentada por estes por trazer um confronto da perspectiva de minimização de custos com restrições do número de faltas com a premissa da minimização do número de faltas com restrições financeiras. Para direcionar o andamento do trabalho, as seguintes perguntas de pesquisa (RQs) são propostas:

RQ1: Quais são os *trade-offs* existentes na otimização da eficiência e efetividade da operação humanitária de PPPA?

RQ2: Como a sensibilidade ao risco financeiro pode influenciar o resultado final de uma operação da LH?

Para seguir o estudo proposto, a Seção 2 apresenta a modelagem matemática feita e as instâncias de análise; a Seção 3 traz os principais resultados e discussões e a Seção 4 conclui o trabalho.

2. Metodologia

A abordagem apresentada utiliza modelos de otimização estocástica de dois estágios para se tratar de um problema de PPPA levando-se em conta os possíveis cenários encontrados pós-desastre. Para análise da priorização entre eficiência e efetividade, três modelos são considerados com características específicas (Figura 1).

O problema de PPPA analisado considera a decisão de abertura de depósitos para alocar produtos emergenciais, como água, cestas básicas, medicamentos, entre outros, antes de um desastre ocorrer, i.e. pré-posicionar, para reagir ao desastre de uma forma mais efetiva nas primeiras 72h após o desastre. Após reveladas as necessidades de cada região a ser atendida pelos

depósitos, i.e. nós de demanda, o modelo se baseia nas decisões de transporte destes produtos dos depósitos aos nós de demanda para chegar a uma resposta ótima.

Os modelos propostos aqui são baseados no trabalho de [Condeixa et al. 2017] com algumas modificações, estas sendo:

- i) Múltiplos tamanhos de depósito são possíveis em cada centro de distribuição;
- ii) Não se utiliza um número mínimo de depósitos a serem abertos;
- iii) Não se utiliza um estoque mínimo;
- iv) Os modelos apresentados apenas consideram um tipo de produto; e
- v) Para se analisar os resultados do modelo de minimização de custos, o custo da falta não é contabilizado nas Funções Objetivo (FOs) dos modelos propostos.

<u>Modelo 1:</u> Minimização de Custos	<u>Modelo 2:</u> Minimização de Faltas	<u>Modelo 3:</u> Minimização de Custos com Sensibilidade ao Risco
• Custo mínimo de abertura de depósitos • Custo mínimo de transporte • Controle de faltas	• Número de faltas mínimo • Controle de custos (orçamento)	• Custo mínimo de abertura de depósitos • Custo mínimo de transporte • Controle de faltas • Sensibilidade ao risco

Figura 1: Modelos de otimização propostos

2.1. Modelagem Matemática

Os modelos apresentados possuem uma base comum de quatro conjuntos, vinte parâmetros e sete variáveis, como visto a seguir.

- Conjuntos: I, J, S, T
- Variáveis: $P_{it}, O_{it}, R_{ijt}^s, DNT_{it}^s, A_{it}^s, AA_t^s, SH_j^s$
- Parâmetros: todo o restante

Os parâmetros e variáveis estocásticas, que dependem da realização do cenário $s \in S$ com uma probabilidade p^s de ocorrer, possuem o índice s designado na parte superior direita. Ademais, o índice i é utilizado para representar a origem $i \in I$ dos produtos e o índice j o destino $j \in J, t \in T$ representa o tipo de depósito. As inequações (1) – (15) são utilizadas pelos 3 modelos.

A quantidade de produtos a serem pré-posicionados em cada centro de distribuição i e tipo de depósito t é designada por P_{it} ; a soma de todos os produtos pré-posicionados não pode ultrapassar um limite fixo de produtos (pp), como visto em (1). A restrição (2) representa a limitação de P_{it} à capacidade dos depósitos abertos (cap_{it}). Cada centro de distribuição pode receber um depósito, cuja capacidade é dimensionada de acordo com o valor nominal de capacidade pré-definida no trabalho de [Condeixa et al. 2017]. Desta forma, levando em consideração as possíveis combinações de capacidades (25%, 50%, 75% e 100% do valor nominal), o modelo permite uma resposta mais flexível pois a capacidade agora pode ser reduzida até um mínimo de 25% até um máximo de 250% (25% + 50% + 75% + 100%). Além disso, incorporaram-se ao problema os ganhos de escala ao se abrirem depósitos com custos de abertura seguindo uma

função crescente, convexa e linear por partes. A inequação (3) estabelece que o total transportado de um centro de distribuição i , $\sum_j R_{ijt}^s$, não pode ultrapassar o total de produtos pré-posicionados (P_{it}) mais as doações alocadas para o tipo de depósito t na localidade i (DNT_{it}^s) mais a aquisição de produtos após o desastre (A_{it}^s). A inequação (4) define a falta incorrida em cada nó de demanda (SH_j^s) como a diferença entre a demanda do mesmo (d_j^s) e a quantidade transportada para o mesmo ($\sum_t \sum_i R_{ijt}^s$). O transporte de cada tipo de depósito t somente pode ocorrer se este for aberto, como visto em (5). (6) e (7) limitam a quantidade transportada de cada centro de distribuição à capacidade das vias após o desastre em volume (cv_{ij}^s) e peso (cw_{ij}^s) através de fatores de conversão de volume e peso, respectivamente fv e fw . (8) e (9) definem quando a aquisição é necessária ($AA_t^s = 0$) ou não ($AA_t^s = 1$) utilizando como auxiliar um grande número (M) após a avaliação do quanto foi pré-posicionado, o quanto a localidade i recebe de doações no cenário s (dn_i^s) e a demanda neste mesmo cenário. (10) permite que a aquisição ocorra uma vez que $AA_t^s = 0$. A aquisição possui um limite contratual que depende da dimensão de um desastre (cot_t^s) e este limite é representado pelas inequações (11) e (12), porém esta só é permitida quando a demanda é menor do que a oferta, como visto em (13). O espaço viável é então definido após (14) e (15).

$$\sum_t \sum_i P_{it} \leq pp \quad (1)$$

$$cap_{it} O_{it} \geq P_{it} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (2)$$

$$\sum_j R_{ijt}^s \leq P_{it} + DNT_{it}^s + A_{it}^s \quad \forall i \in I, t \in T, s \in S \quad (3)$$

$$SH_j^s = d_j^s - \sum_t \sum_i R_{ijt}^s \quad \forall j \in J, s \in S \quad (4)$$

$$cap_{it} O_{it} \geq \sum_j R_{ijt}^s \quad \forall i \in I, t \in T, s \in S \quad (5)$$

$$R_{ijt}^s fw \leq cw_{ij}^s \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T, s \in S \quad (6)$$

$$R_{ijt}^s fv \leq cv_{ij}^s \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T, s \in S \quad (7)$$

$$M(1 - AA_t^s) \geq \sum_j d_j^s - \sum_i P_{it} - \sum_i dn_i^s \quad \forall t \in T, s \in S \quad (8)$$

$$M AA_t^s \geq \sum_i P_{it} + \sum_i dn_i^s - \sum_j d_j^s \quad \forall t \in T, s \in S \quad (9)$$

$$A_{it}^s \leq M(1 - AA_t^s) \quad \forall i \in I, t \in T, s \in S \quad (10)$$

$$cot_t^s O_{it} \geq A_{it}^s \quad \forall i \in I, t \in T, s \in S \quad (11)$$

$$cot_t^s \geq \sum_i A_{it}^s \quad \forall t \in T, s \in S \quad (12)$$

$$\sum_i A_{it}^s \leq \sum_j d_j^s - \sum_i P_{it} - \sum_i dn_i^s + AA_t^s M \quad \forall t \in T, s \in S \quad (13)$$

$$P_{it}, R_{ijt}^s, SH_j^s, A_{it}^s, DNT_{it}^s \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T, s \in S \quad (14)$$

$$O_{it}, AA_t^s \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, t \in T, s \in S \quad (15)$$

As funções objetivo a serem otimizadas nos modelos 1 e 2 são representadas pelas funções (16) e (17), respectivamente.

Minimização dos custos (FO1):

$$\min \left\{ \sum_t \sum_i ca_{it} O_{it} + \sum_s p^s \sum_i \sum_j \sum_t (ct_{ij}^s R_{ijt}^s) \right\} \quad (16)$$

O primeiro termo da FO1 representa o custo de abertura de depósitos enquanto o segundo termo representa o custo esperado de transporte, os parâmetros ca_{it} e ct_{ij}^s se referem aos custos de abertura e transporte respectivamente. O resultado desta função também é designado como custo operacional esperado (COE).

Minimização das faltas (FO2):

$$\min \left\{ \sum_s p^s \sum_j SH_j^s \right\} \quad (17)$$

FO2 representa o nível de serviço através do número de faltas esperadas (FE), de forma que quanto maior a função menor é a efetividade da operação. Cabe-se ressaltar que, ao contrário do modelo proposto em [Condeixa et al. 2017], as funções objetivo FO1 e FO2 não utilizam um valor explícito do custo da falta.

Ao se minimizar os custos (FO1) sem a contabilização de um custo da falta, os resultados terão de ter um controle de efetividade, uma vez que uma resposta com custo mínimo isolado seria a de não atender a população afetada. Desta forma, na minimização de custos, ao se suprimir a utilização do custo da falta, deve-se estabelecer uma restrição para controle do número de faltas esperado. De maneira análoga, na minimização do número de faltas (FO2), há a necessidade de se estabelecer o controle do custo da operação. As restrições (18) e (19) a seguir são propostas para solucionar estas necessidades.

Controle do número esperado de faltas:

$$\sum_s p^s \sum_j SH_j^s \leq b^{efet} \quad (18)$$

Controle dos gastos operacionais esperados:

$$\sum_t \sum_i ca_{it} O_{it} + \sum_s p^s \sum_i \sum_j \sum_t (ct_{ij}^s R_{ijt}^s) \leq b^{efic} \quad (19)$$

Os parâmetros b^{efic} e b^{efet} são estabelecidos previamente ao desastre para se balizar o nível de eficiência (custos) e efetividade (faltas) mínimos na operação. O dimensionamento dos mesmos pode não ser definido de maneira trivial antes da ocorrência do desastre uma vez que não se pode saber com muita antecedência as reais proporções do mesmo. Neste trabalho, estes valores são estimados empiricamente baseados nos dados levantados nos trabalhos de [Condeixa et al. 2017] e [Brito et al. 2014].

2.2. Agregação da Sensibilidade ao Risco

Assim como proposto em [Condeixa et al. 2017], o modelo utiliza a medida de valor em risco condicional (em inglês *conditional value at risk* - CVaR) para se referir a média dos piores resultados tanto em termos de custo quanto em termos de falta. Particularmente, CVaR é uma medida com certa preferência na área de otimização, pois apresenta vantagens tais quais linearidade, convexidade, dominância estocástica de primeira e segunda ordem, monotonicidade e homogeneidade positiva [Rockafellar e Uryasev 2000]. Mais motivos para se utilizar esta medida de risco em operações humanitárias podem ser encontradas em [Alem et al. 2016].

A terceira função objetivo – FO3 – utiliza a otimização da medida de risco como uma forma de representar as preferências pelo risco financeiro do TD, assim como usualmente feito em companhias privadas.

Minimização dos custos com aversão ao risco (FO3):

$$\min \left\{ \sum_t \sum_i ca_{it} O_{it} + (1 - \beta) \sum_s p^s \sum_i \sum_j \sum_t (ct_{ij}^s R_{ijt}^s) + \beta \left(\eta + \frac{(\sum_s p^s Y^s)}{1 - \alpha} \right) \right\} \quad (20)$$

Na função (20) $\beta \in [0,1]$ representa a ponderação dada para o CVaR, terceiro termo, Y^s é uma variável auxiliar que acumula os valores de custo operacional acima de η . Este por sua vez assume o valor em risco (em inglês VaR) com confiança de $\alpha\%$ quando FO3 é otimizado.

Para se otimizar a combinação convexa representada por (20), deve-se adicionar as seguintes restrições às (1) – (15):

$$Y^s \geq \sum_i \sum_j \left(ct_{ij}^c \sum_t R_{ijt}^s \right) - \eta \quad \forall s \in S \quad (21)$$

$$Y^s \geq 0 \quad \forall s \in S \quad (22)$$

Os modelos a serem otimizados e as restrições dedicadas para controle da falta ou do custo são abordados na próxima seção. De forma esquemática, a Tabela 1 mostra a estrutura de cada um dos três modelos propostos.

Tabela 1: Restrições e FOs dos Modelos de 1 a 3

Modelo	Restrições	FO
1	(1) – (15), (18)	(16)
2	(1) – (15), (19)	(17)
3	(1) – (15), (18), (21), (22)	(20)

3. Resultados e Discussão para um Caso de Desastre no Vale do Paraíba

O caso analisado se refere às opções de preparação para o atendimento de pessoas na ocasião de desastres como deslizamentos, enchentes, alagamentos entre outros na mesorregião do Vale do Paraíba localizada no estado de São Paulo, no Brasil. A região de análise compreende 34

municípios com possibilidades históricas de desastre e 5 possibilidades de depósito que se justificam pela disponibilidade operacional da Defesa Civil e pelo baixo histórico de acidentes. Mais detalhes sobre o caso podem ser encontrados em [Brito et al. 2014], onde o mesmo foi proposto originalmente. O estudo de caso se refere à distribuição nas primeiras 72h após o desastre, período mais crítico para o primeiro atendimento às vítimas. O estudo de caso e as soluções obtidas anteriormente para o mesmo problema podem ser encontrados nos trabalhos de [Brito et al. 2014], [Condeixa et al. 2017] e [Condeixa 2018]. O modelo de otimização foi implementado usando AIMMS 3.14, o solver usado foi o CPLEX 12.6 num processador Intel® Core™ i7-2670QM com 8GB de memória RAM. De uma forma geral, o processamento apresentou estabilidade com tempos não superiores a 10 segundos por instância com 9 cenários de desastre.

A Figura 2 traz a fronteira de Pareto entre as FE, no eixo das abcissas, e o COE, no eixo das ordenadas, formada pelos resultados dos Modelos 1 e 2. Percebe-se que a fronteira não é contínua e isto ocorre por conta da natureza binária da decisão de primeiro estágio de abertura ou não abertura de depósitos. Quando há a decisão pela abertura de um depósito, o nível de atendimento atinge um outro patamar uma vez que agora pode-se contar com um maior número de produtos doados (aumento da captação) e maior capacidade no sistema. Os resultados da otimização do Modelo 2 foram divididos neste gráfico para se contabilizar os pontos que estão fora da fronteira, também chamados de pontos dominados, e os pontos não-dominados. Esta distinção entre os pontos dominados e não-dominados ocorre na minimização das FE quando alguns pontos de operação tem um maior custo para atender o mesmo nível da demanda. Percebe-se que ao se aproximar do mínimo número de faltas possível – aproximadamente 5.552 – há uma maior produção destes pontos ineficientes. Isto ocorre porque quando a demanda atendida está próxima do nível máximo da demanda possível de ser atendida, os custos marginais de operação, i.e., custos adicionais para se atender a um pequeno incremento da demanda, aumentam significativamente.

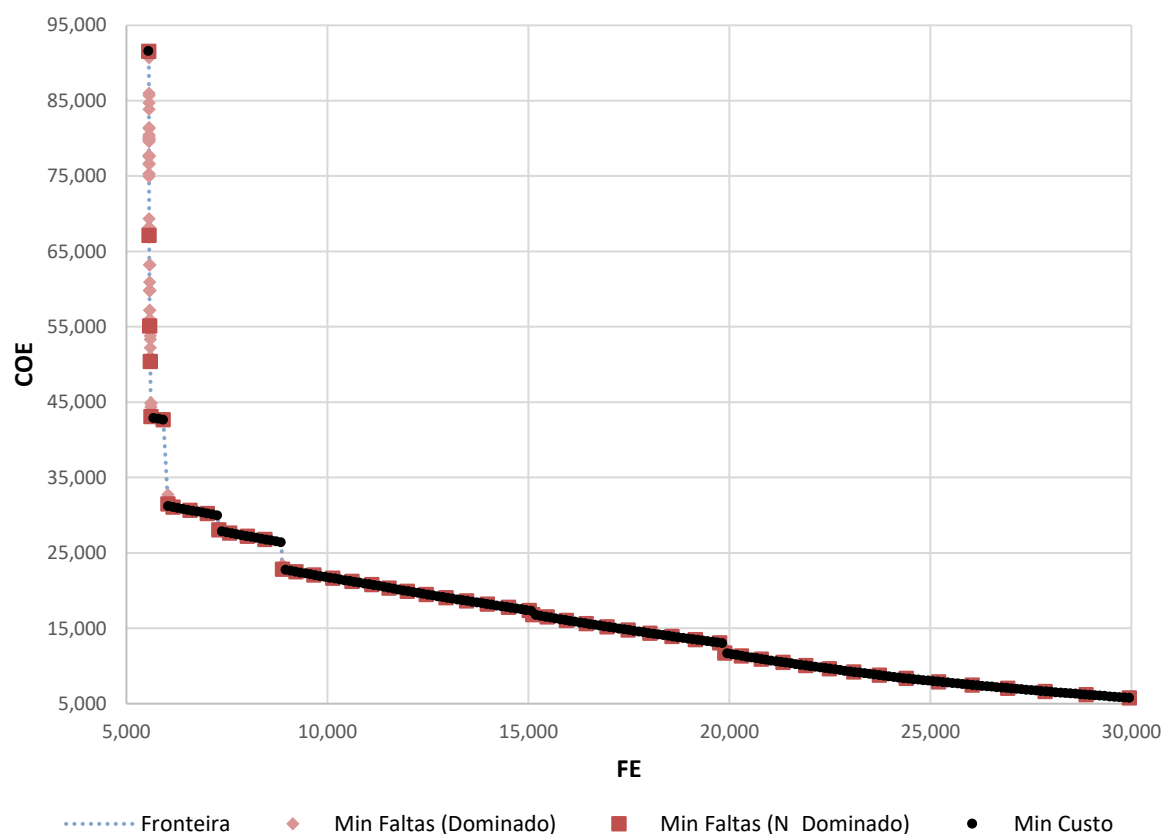


Figura 2: Resultados da otimização dos Modelos 1 e 2

Desta forma, a minimização de faltas sem um controle apurado de custos pode gerar um ponto de operação em que se gasta mais do que devido para atender à demanda. Já na minimização de custos isto não ocorre uma vez que ao se reduzir o nível de faltas permitidas (b^{efet}) a operação diminui linearmente o nível de transporte. No entanto, deixando-se a parte a produção de pontos dominados pelo Modelo 2, ambos os Modelos 1 e 2 produzem respostas válidas para a operação humanitária.

Na Figura 3 omitem-se os pontos dominados do Modelo 2 e se adicionam as soluções do Modelo 3 de minimização de custos com uma alta sensibilidade ao risco econômico ($\beta = 0,99$). Diz-se risco econômico pois a medida de risco apenas demonstra o CVaR dos valores de custo, sem se preocupar com os piores cenários de cobertura. Faz-se esta limitação do resultado para análise do comportamento clássico de aversão ao risco de um gestor de uma companhia orientada ao lucro.

Apesar de podermos reconhecer que o TD na prática não estará visando o lucro numa operação humanitária, algumas empresas financiadoras podem se limitar ao financiamento do atendimento pós-desastre. Como dito em [Burkart et al. 2016], ainda há uma certa dificuldade em se justificar a utilização de recursos em operações humanitárias de pré-posicionamento. O que se pode perceber na Figura 3 é que a fronteira da minimização de custos quando a sensibilidade ao risco está ativa se desloca ligeiramente para cima, mostrando uma operação mais custosa. Isto ocorre pois quando a minimização leva em conta os piores cenários, toda a operação se adapta para evitar incorrer em custos elevados ainda que haja um desastre de grandes dimensões. De uma forma prática, o TD terá a preferência em abrir mais depósitos em média para evitar um alto custo de transporte nos piores cenários. Apesar da solução parecer razoável na logística tradicional, percebe-se que há pontos na minimização dos Modelos 1 e 2 que apresentam um custo operacional menor para o mesmo nível de atendimento.

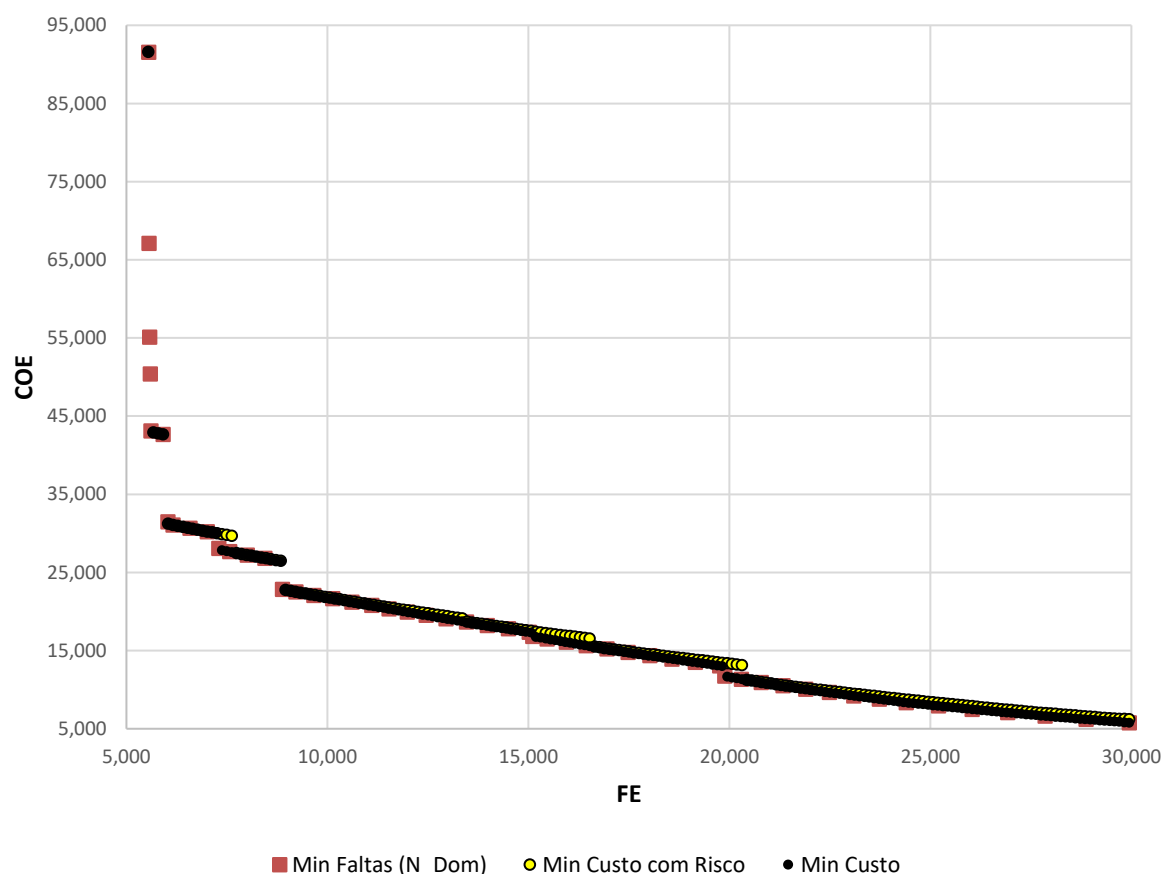


Figura 3: Resultados da otimização dos Modelos 1, 2 e 3

4. Conclusão

De forma geral, tanto a minimização de custos quanto a minimização da falta no processo decisório de PPPA podem ser utilizados se os parâmetros dos modelos estiverem bem definidos. Seguindo os resultados encontrados na minimização dos custos e das faltas numa operação de pré-posicionamento e primeira resposta a desastres no Vale do Paraíba, é possível concluir que não houve evidência suficiente para se justificar a hierarquização dos objetivos. Apesar de ambos apresentarem performance computacional semelhante, há vantagens e desvantagens em cada um dos modelos. Enquanto o modelo de minimização de custos sempre irá garantir a eficiência da operação, pode ser difícil para o TD estabelecer o que seria um nível de faltas (b^{efet}) aceitável. Além disso, a busca pela minimização da utilização de recursos na LH sempre pode ser subestimada pela população ou até pelo TD.

No que concerne a minimização do número de faltas, este parece ser o objetivo mais coerente a ser buscado pelo TD na LH. No entanto, como pode ser visto na Figura 2, as soluções focadas apenas na efetividade da operação podem levar a resultados desnecessariamente ineficientes levando ao desperdício de recursos.

A otimização no processo decisório de PPPA deve levar em consideração um dimensionamento apurável tanto dos custos máximos (b^{efic}) quanto da mínima cobertura (b^{efet}). Portanto, a otimização tanto dos custos operacionais quanto da cobertura da operação deve ser acompanhada de um *benchmarking* dos possíveis valores destes parâmetros no contexto humanitário em análise (tipo de desastre, população afetada, meios disponíveis, etc.).

Tendo em vista o resultado apresentado na Figura 3, a minimização de custos com sensibilidade ao risco exclusivamente econômico pode tirar a operação da fronteira eficiente gastando-se mais do que deveria para atender menos do que se espera. Desta forma, na operação humanitária, sugere-se que o TD agregue também a visão do risco na efetividade da operação, evitando também os piores casos de atendimento. Um exemplo desta abordagem passando pela definição do custo da falta pode ser encontrado em [Condeixa et al. 2017].

As conclusões aqui apresentadas podem ser interpretadas como um estágio intermediário de um melhor entendimento dos objetivos conflitantes na otimização do problema de PPPA. Apesar das várias abordagens multi-critério na LH, como revistas em [Gutjahr e Nolz 2016], poucas se propõem a estabelecer uma discussão sobre os objetivos conflitantes na área. Um trabalho futuro pode focar nas diferentes interpretações do bom desempenho na LH e como as operações podem ser afetadas pelas diferentes priorizações de objetivo que o TD pode assumir. Além disso, uma maior compreensão sobre o papel da equidade na solução humanitária tanto em uma FO quanto na restrição pode enriquecer o presente estudo para que uma análise mais completa das três vertentes dos 3E seja feita.

Referências bibliográficas

- Alem, D.; Clark, A.; Moreno, A. (2016). Stochastic network models for logistics planning in disaster relief. *European Journal of Operational Research*, v. 255, n. 1, p. 187–206.
- Burkart, C., Besiou, M., Wakolbinger, T., (2016). The funding—Humanitarian supply chain interface. *Surv. Oper. Res. Manag. Sci.* 21(2), 31–45.
- Caunhye, A., Xiaofeng, N., Pokharell, S. (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 46, n; 1, p. 4-13.
- Condeixa, L. D. , Leiras, A.; Oliveira, F., Brito, I. (2017). Disaster relief supply pre-positioning optimization: A risk analysis via shortage mitigation. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 25, p. 238–247.

Condeixa, L. D. (2018). Avaliação de objetivos conflitantes e da sensibilidade ao risco na preparação para um desastre através de otimização estocástica. Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

Brito, I.; Leiras, A.; Yoshizaki, H. T. Y. (2014). Stochastic optimization applied to the prepositioning of disaster relief supply decisions in Brazil. *POMS meeting annals 2014*.

Grass, E.; Fischer, K. (2016). Two-stage stochastic programming in disaster management : A literature survey. *Surveys in Operations Research and Management Science*, v. 21, p. 85-100.

Gutjahr, W. J.; Nolz, P. C. (2016). Multicriteria optimization in humanitarian aid. *European Journal of Operational Research*, v. 252, n. 2, p. 351–366.

Hoyos, M. C.; Morales, R. S.; Akhavan-Tabatabaei, R. (2015). OR Models with Stochastic Components in Disaster Operations Management : A Literature Survey. *Computers and Industrial Engineering*, v. 82, p. 183-197.

Leiras, A., Brito, I., Peres, E., Bertazzo, T., Yoshizaki, H., (2014). Literature review of humanitarian logistics research: trends and challenges. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, Vol. 4 Issue: 1, pp.95-130.

Noyan, N. (2012). Risk-averse two-stage stochastic programming with an application to disaster management. *Computers and Operation Research*, v. 39, n. 3, p. 541–559.

Overstreet, R.E., Hall, D., Hanna, J.B., Kelly Rainer, R., (2011). Research in humanitarian logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2), 114–131.

Özdamar, L., Ertem, M.A., (2015). Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics. *European Journal of Operations Research*, 244(1), 55–65.

Rezaei-Malek, M.; Tavakkoli-Moghaddam, R.; Cheikhrouhou, N., (2016). An approximation approach to a trade-off among efficiency , efficacy , and balance for relief pre-positioning in disaster management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 93, p. 485–509.

Rockafellar, R. T.; Uryasev, S. (2000). Optimization of conditional value-at-risk. *Journal of Risk*, v. 2, n. 3, p. 21–41.

Turkeš, R.; Cuervo, D. P.; Sörensen, K. (2017). Pre-positioning of emergency supplies: does putting a price on human life help to save lives? *Annals of Operations Research*.

Tzeng, G.; Cheng, H.-J.; Huang, T. D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 43, p. 673–686.

Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, v. 57, p. 475–489.

Vitoriano, B., Ortuño, M.T., Tirado, G., Montero, J. (2011). A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *Journal of Global Optimization*, v. 51, p. 189–208.