

GESTÃO DE ESTOQUES DE SUPRIMENTOS DE ALÍVIO DE DESASTRES CONSIDERANDO O CUSTO DE PRIVAÇÃO

Maria Angélica Gomes da Silva (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro-PUC-RIO)

Adriana Leiras (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro-PUC-RIO)

Tharcisio Cotta Fontainha(Universidade Federal do Rio de Janeiro -UFRJ)

Irineu de Brito Junior (Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho)



Os suprimentos de alívio são itens essenciais para a humanidade (como água e alimentos), e sua falta pode ter um impacto significativo. No entanto, os recursos disponíveis podem não ser suficientes para atender às necessidades dos beneficiários. O custo de privação quantifica o sofrimento causado às vítimas de desastres pela falta desses itens. Este artigo analisa o efeito da inclusão de custos de privação na gestão de estoque de suprimentos de alívio em casos de desastres. Um modelo básico de gestão de estoque considerando os custos de privação é formulado como um modelo estocástico de dois estágios. Além disso, são analisadas diversas funções de custo de privação encontradas na literatura. Por fim, o modelo é validado empiricamente por meio de um estudo de caso. A lacuna abordada é a análise de diferentes funções de privação já propostas na literatura. Os resultados sugerem que a escolha da função de privação pode impactar em até 99,9% de diferença nos custos totais de gestão de estoque. O nível de serviço gerado também apresenta grande amplitude quando comparadas as diferentes funções. Conclui-se que as funções desenvolvem diferentes níveis de serviço, cabendo aos tomadores de decisão escolher qual melhor se adequa ao problema estudado. Como contribuição prática, destacamos que o modelo de gestão de estoques proposto considerando o custo de privação pode auxiliar os tomadores de decisão e diminuir o sofrimento das pessoas afetadas por desastres. Como contribuição acadêmica, o estudo compara as principais funções de privação propostas na literatura, que podem ajudar na proposição de novos modelos.

Palavras-chave: Gestão de Estoques, Modelagem Matemática, Custo de Privação, Pesquisa Empírica.

1. Introdução

No ano de 2021, desastres afetaram aproximadamente 101,8 milhões de pessoas, causando 10.492 vítimas fatais e US\$ 252,1 bilhões em perdas (CRED, 2022). A Logística Humanitária (LH) é o processo de planejar, programar e controlar estoques de mercadorias eficientemente e com custo mitigado, além de acompanhar o fluxo de informações correlatas, do ponto de origem ao ponto de consumo, para atender a propósitos dos beneficentes (THOMAS e MIZUSJIMA, 2005). Todavia, os trabalhos relacionados a gestão de estoques de produtos essenciais ainda são escassos (Balcik *et al.*, 2016).

Durante e após a ocorrência de desastres, existem suprimentos que são essenciais para a sobrevivência humana, ou que a falta pode causar grande impacto, como por exemplo, a água. Além disso, os suprimentos são um dos gargalos da LH, podendo esse gargalo ocorrer tanto no processo de previsão da demanda, no processo de aquisição ou na distribuição à população (BALCIK *et al.*, 2008). Por esse motivo, Holguín-Veras *et al.* (2012) propuseram uma maneira inovadora de quantificar o sofrimento das pessoas afetadas por desastres, ou seja, inserir um valor para a falta de um item que é essencial em casos de desastres. Esse sofrimento, quando quantificável, é considerado como custo de privação.

A inserção desse custo de privação é importante, visto que, ao se considerar uma distribuição de suprimentos, é necessário saber a prioridade da população, ou seja, saber o quanto e/ ou a quem deve ser oferecido. Shao *et al.* (2020), em seu estudo sobre o desenvolvimento das pesquisas sobre os custos de privação, concluem a necessidade de desenvolvimento de novos modelos em LH que unam o estado da arte e prática.

Com isso, buscando melhorar a gestão de estoques de suprimentos críticos e diminuir o sofrimento da população afetada por desastres, este estudo propõe um modelo matemático de otimização da gestão de estoques considerando o custo de privação e valida a aplicabilidade do modelo por meio de estudo empírico. Este estudo se justifica pela importância e necessidade de uma gestão eficiente dos estoques para resposta a desastres. Considerando o elevado número de pessoas afetadas por desastres, são necessários esforços para diminuir o sofrimento dos afetados.

2. Metodologia

O método de modelagem e simulação é utilizado para aplicação e validação do modelo proposto em uma organização de resposta a desastres. Segundo Cauchick Miguel *et al.* (2012), a utilização de modelos permite compreender melhor o ambiente em questão, formular

estratégias, apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisões. Além disso, modelos quantitativos podem ser utilizados para analisar os resultados de diferentes ações possíveis no sistema. Segundo Cauchick Miguel *et al.* (2012), as etapas do processo de modelagem são: definição do problema, construção do modelo, solução do modelo, validação do modelo e implementação do modelo.

Na primeira etapa, definição do problema, são definidos o escopo do problema, as decisões de interesse e os objetivos e, por fim, o modelo conceitual do problema abordado (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2012). O problema em questão é analisar a gestão de estoque de suprimentos de alívio e como a utilização do custo de privação impacta na população afetada por desastres. Considerando-se a proposta de definir o nível de estoque de suprimento, essa análise é desenvolvida na Cruz Vermelha Brasileira (CVB), uma organização da sociedade civil filantrópica e sem fins lucrativos, que tem como missão atenuar e aliviar o sofrimento humano (CVB, 2021). Os respondentes e entrevistados foram 2 funcionários, sendo um coordenador nacional de logística e um coordenador financeiro.

Na segunda etapa, construção do modelo, as informações coletadas são utilizadas para desenvolver e avaliar um modelo matemático do problema, em geral, baseado na literatura (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2012). Com isso, um modelo matemático é desenvolvido para a gestão de estoque de suprimentos de alívio considerando o custo de privação.

Na terceira etapa, solução do modelo, os métodos de solução e algoritmos são utilizados para resolver o modelo da segunda fase, com a utilização de software e hardware computacionais (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2012). Para essa pesquisa é utilizado o software AIMMs 3.14, utilizando o solver CPLEX 12.6, em processador Intel Core i5® CPU 2.5GHz, 8 Gb RAM, sistema operacional 64 bits, em ambiente Windows 10®. Foram também conduzidos testes para identificar possíveis erros e verificar a adequação e o desempenho da implementação do modelo. Por isso, é desenvolvido um exemplo numérico (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2012).

Na quarta etapa, validação do modelo, é verificado se o modelo proposto representa apropriadamente o problema, ou seja, se ele representa o comportamento do sistema real (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2012). Para isso, a validação empírica é realizada. Além disso, considera-se diferentes cenários para verificar a validade do modelo em situações estressantes, no caso desastres severos.

A última etapa, é a implementação da solução na prática da organização, traduzindo os resultados do modelo em conclusões ou decisões.

3. Modelo de gestão de estoque com custo de privação

3.1. Definição do problema

O problema abordado na pesquisa encontra-se apresentado nas seções anteriores, sendo definido pela necessidade de analisar a gestão de estoque de suprimentos de alívio e como a utilização do custo de privação impacta na população afetada por desastres. Assim, a presente seção considera os modelos da literatura, como proposto por Silva e Leiras (2021), e investiga se a modelagem de custos de privação segue a realidade. Consequentemente, um modelo de gestão de estoque considerando os custos logísticos e o custo de privação é desenvolvido. O modelo propõe a determinação da quantidade de suprimentos de alívio a ser comprado e estocado no atendimento às vítimas de desastres. Segundo Holguín-Veras *et al.* (2013), o custo de privação deve ser inserido na função objetivo, assim, a função objetivo minimiza o custo total de atendimento composto pelos custos de fornecimento, armazenagem e privação. O objetivo do modelo é definir o nível de estoque de suprimentos de alívio.

Baseado em Condeixa *et al.* (2017), a modelagem considera um limite orçamentário de compra, consoante com o valor de mercado dos produtos, e um valor de estoque inicial, que também pode ser nulo caso não tenha o item em estoque. Além disso, considera-se um custo de armazenamento por produto, de acordo com o espaço utilizado, e uma capacidade de armazenagem, que é medida pelo volume do armazém disponível, conforme o volume de cada produto.

A modelagem de dois estágios é adotada neste trabalho, pois trata-se de um modelo de gestão de estoques de suprimentos humanitários, cujo objetivo é ter os itens necessários previamente armazenados para atender a população afetada pelo desastre. Nesse modelo, as decisões são divididas em primeiro estágio, que são as decididas antes do desastre ocorrer e em segundo estágio, que são as decisões implementadas após a ocorrência do desastre. Geralmente, as variáveis do primeiro estágio são ligadas as questões relacionadas a planejamento e decisões estratégicas, no caso do modelo proposto são as compras dos suprimentos. Enquanto, as de segundo estágio são associadas as decisões táticas e operacionais, que nesse estudo é a estocagem ou não dos suprimentos, de forma a melhor atender a população afetada pelos desastres.

Por fim, a função de custo de privação é inserida, com o intuito de penalizar as demandas não atendidas de acordo com o tempo de privação. Para isso, é utilizado o *backordering*, isto significa, que a demanda não atendida no período atual pode ser atendida nos períodos

seguintes, porém existe um custo de acordo com o número de períodos sem atendimento, e caso ultrapasse do tempo máximo estipulado de espera, utiliza-se o custo de perda da vida, que é o custo em que o indivíduo vem a óbito. Para água esse valor é após cinco dias de privação. Apesar da vida não ter preço, para efeitos de modelagem é definido um valor suficiente, com o intuito de não ocorrer o atendimento somente em caso de restrição de recursos. O valor utilizado é cinco milhões de dólares, conforme definido por Holguín-Veras *et al.* (2013).

3.2. Construção do modelo

A formulação do modelo é baseada em Brown e Dell (2007), dessa forma, os nomes de variáveis são apresentados em letras maiúsculas e os parâmetros, dados e índices em letra minúscula.

3.2.1. Nomenclatura

A Tabela 1 apresenta os parâmetros, variáveis e índices usados na modelagem.

Tabela 1 – Índices, parâmetros e variáveis utilizadas no modelo

Conjuntos	
$t \in T$	Tempo
$tt \in T$	Auxiliar de t , o tempo em que ocorreu a falta
$i \in I$	Produto
$s \in S$	Cenário
Parâmetros determinísticos (unidade)	
c_i	Custo de armazenar o produto i (\$)
v_i	Volume do produto i (m ³)
$fdc_{i,t}$	Função do custo de privação no tempo t de acordo com o produto i (\$)
cm	Capacidade máxima de estoque (m ³)
lim	Limite orçamentário de compra (\$)
M	Número grande auxiliar (adimensional)
ce_i	Custo de fornecimento de cada produto i (\$)
es_i	Estoque inicial de cada produto i (unidades de produto)
Parâmetros dependentes do cenário (unidade)	
$prob_s$	Probabilidade de ocorrência do cenário s
$d_{i,t,s}$	Demanda de cada produto i no tempo t no cenário s (unidades de produto)
$do_{i,t,s}$	Doação de cada produto i no tempo t no cenário s (unidades de produto)
Variáveis de Primeiro estágio	
$Z_{i,t}$	Quantidade comprada de cada produto i no tempo t (unidades de produto)
Variáveis de Segundo estágio	
$Y_{i,t,s}$	Quantidade armazenada de cada produto i no tempo t no cenário s (unidades de produto)
$F_{i,t,tt,s}$	Quantidade faltante do produto i no tempo tt e não atendida no tempo t no cenário s (unidades de produto)
$B_{i,t,tt,s}$	Quantidade de produto i faltante no tempo tt e atendida no tempo t no cenário s (unidades de produto)
$K_{i,t,s}$	Quantidade não utilizada (sobra) do produto i no tempo t no cenário s (unidades de produto)
$X_{i,t,s}$	Binária para auxiliar no fluxo de produto, conforme produto i , tempo t e cenário s (adimensional)

3.2.2. Modelagem matemática

A função objetivo (1) minimiza os custos, expressa como o custo de fornecimento somado com a função de segundo estágio. A segunda parte da função objetivo (2) minimiza a soma do custo de armazenagem que é decorrente do somatório de todos os produtos armazenados em todos os períodos, do custo de privação das demandas não atendidas e do custo que penaliza as faltas não atendidas no final do período estipulado (MORENO *et al.*, 2018), onde $|T|$ significa o último período do horizonte de planejamento, ou seja, o tempo final será subtraído do tempo em que ocorreu a falta.

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i,t} ce_i Z_{i,t} + Q(Z, s) \right\} \quad (1)$$

$$Q(Z, s) = \sum_{i,t,s} \text{prob}_s c_i Y_{i,t,s} + \sum_{i,s,t,tt} \text{prob}_s \text{fdc}_{i,t-tt} B_{i,tt,t,s} + \sum_{i,tt,s} \text{prob}_s F_{|T|,tt,s,i} \text{fdc}_{i,|T|-tt} \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i,t} ce_i Z_{i,t} \leq \text{lim} \quad (3)$$

$$d_{i,t,s} + Y_{i,t,s} = Z_{i,t} + F_{i,t,tt,s} + es_i + do_{i,t,s} \quad \forall i, s, t, tt | t = 1 \text{ e } t = tt \quad (4)$$

$$d_{i,t,s} + Y_{i,t,s} + K_{i,t,s} = Z_{i,t} + F_{i,t,tt,s} + Y_{i,t-1,s} + do_{i,t,s} \quad \forall i, s, t, tt | t = tt \quad (5)$$

$$\sum_i Y_{i,t,s} v_i \leq cm \quad \forall t, s \quad (6)$$

$$Y_{i,t,s} \leq (1 - X_{i,t,s})M \quad \forall i, s, t \quad (7)$$

$$F_{i,t,tt,s} \leq X_{i,t,s} d_{i,t,s} \quad \forall i, s, t, tt | tt = t \quad (8)$$

$$K_{i,t,s} + \sum_{tt|tt < t} -F_{i,t-1,tt,s} + F_{i,t,tt,s} = 0 \quad \forall i, s, t | t > 0 \quad (9)$$

$$B_{i,t,tt,s} = F_{i,t-1,tt,s} - F_{i,t,tt,s} \quad \forall i, s, t, tt | t > 1 \text{ e } tt < t \quad (10)$$

$$Y_{i,t,s}, Z_{i,t}, F_{i,t,tt,s}, B_{i,t,tt,s}, K_{i,t,s} \geq 0 \quad (11)$$

$$X_{i,t,s} \in \{0,1\} \quad (12)$$

A restrição (3) limita a disponibilidade de quantidade de cada produto i a ser comprada de acordo com tempo t . O fluxo de oferta e demanda é dividido em duas restrições. A restrição (4) representa o fluxo de oferta e demanda de produtos i no tempo $t=1$, enquanto a restrição (5) adiciona a quantidade não utilizada para cada produto i , a sobra de cada produto e a quantidade em estoque do período anterior, e é para todo período maior que 1. Essas restrições têm por

objetivo atender a demanda caso haja disponibilidade do produto i no tempo t , caso contrário esse valor é considerado a falta. Além disso, caso sobre produto ele é armazenado, ou seja, se no tempo t sobrar produto, o custo de armazenagem é aplicado de acordo com o tempo que ele fica estocado no armazém. Faz-se necessário o uso de duas restrições visto que no $t=1$ já existe um estoque inicial, o que não ocorre para os demais t , além da sobra que não existe no primeiro período.

A restrição (6) limita a disponibilidade de estocagem de acordo com a capacidade do espaço disponível. As restrições (7) e (8) garantem que a falta não seja considerada como uma forma de oferta e seja estocada ou utilizada para atender a demanda. Assim, na restrição (7), quando $X_{i,t,s}$ é igual a 0, a quantidade armazenada pode assumir qualquer valor de acordo com a capacidade de armazenagem, e quando $X_{i,t,s}$ é igual a 1, a quantidade armazenada é 0, garantindo que a falta seja considerada. Já a restrição (8) garante quando $X_{i,t,s}$ é igual a 1, que a falta do período t não pode ser maior que a demanda do mesmo período. Além disso, quando $X_{i,t,s}$ é igual a 0 garante que só poderá haver falta se não houver estoque. A restrição (9) faz com que a sobra do tempo t atenda as faltas dos tempos anteriores. A restrição (10) calcula o tempo dos atendimentos feitos em atraso, ou seja, o tempo que a pessoa ficou sem o suprimento necessário, e ao mesmo tempo garante que a falta do período anterior deve ser maior do que o período atual. Assim, as faltas mais antigas devem ser atendidas antes das mais recentes. As restrições (11) e (12) definem as variáveis não negativas e binárias, respectivamente.

3.2.3. Funções de privação

São consideradas sete formulações para a privação apresentadas na literatura acadêmica, de acordo com o apresentado em Silva e Leiras (2021), considerando somente formulações relacionadas a privação da água.

A Função 1 – Equação (13) – é proposta por Macea *et al.* (2018). A Função 2 é proposta por Holguín-Veras *et al.* (2013) e apresentada na Equação (14). A Função 3 representa o custo constante que é utilizado por alguns autores, como em Hu e Dong (2019). Nesse caso, o custo constante utilizado é quatro vezes o valor comercial de cada produto. De acordo com o proposto por Hu e Dong (2019), esse custo possui um crescimento linear, ou seja, a cada vez que a espera aumenta, o valor da privação aumenta de forma constante. A Função 4 é a proposta por Moreno *et al.* (2018) para itens de alta prioridade, Equação (15). O último artigo analisado é o Holguín-Veras *et al.* (2016), que possui três funções distintas de acordo com o valor da vida – Equações (16), (17) e (18), as funções são consideradas como 5.1, 5.2 e 5.3, respectivamente. Para a

utilização de cada função de acordo com o produto é necessário adaptar, visto que as funções são dadas em litros de água, e os produtos não são em litros. Com isso, é gerada uma planilha para fazer a relação entre litros e a litragem de cada produto.

$$\text{custo de privação} = 0,0216255t^2 + 0,052425t + 0,8272 \quad (13)$$

$$\text{custo de privação} = \begin{cases} 341,32(\text{tempo de privação}) & \text{se } 0 < \text{tempo de privação} \leq 85 \\ 39031(\text{tempo de privação} - 85) + 29012,2 & \text{se } 85 < \text{tempo de privação} \leq 105 \\ 282109(\text{tempo de privação} - 105) + 809632,2 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (14)$$

$$g_w^{HP}(\delta) = NP_w \cdot CM_w \cdot \frac{e^{1,5031+0,1172\delta} - e^{1,5031}}{e^{1,5031+0,1172|\Delta w|} - e^{1,5031}} \quad (15)$$

Em que os seguintes coeficientes são utilizados:

gw: função de custo de privação (real- BRL)

NPw: número de pessoas afetadas pela falta do item w, o valor utilizado foi 1 de acordo com o artigo Moreno *et al.* (2018)

CMw: máximo custo de privação por pessoa do item w (real- BRL), o valor utilizado foi 140000 com base no artigo Moreno *et al.* (2018)

|\Delta w|: número de períodos que a demanda não atendida possui maior penalidade, 72 horas foi o valor utilizado com base no artigo de Moreno *et al.* (2018)

\delta: tempo de privação em horas

Para o valor da vida = \$200.000

$$\text{custo de privação 1} = 0,2869e^{0,0998\text{tempo de privação}} \quad (16)$$

Para o valor da vida = \$1.000.000

$$\text{custo de privação 2} = 0,2354e^{0,1129\text{tempo de privação}} \quad (17)$$

Para o valor da vida = \$5.000.000

$$\text{custo de privação 3} = 0,1932e^{0,1259\text{tempo de privação}} \quad (18)$$

4. Validação empírica do modelo proposto

Inicialmente é feito um exemplo para testar o modelo e posteriormente é feita sua validação.

4.1. Geração de cenários

Para a geração de cenários, são utilizados os passos descritos em Moreno *et al.* (2018), que consiste em quatro etapas: (i) análise histórica dos dados; (ii) categorização do desastre; (iii) fase bootstrap; (iv) avaliação de cenários.

Na primeira etapa, análise dos dados históricos, é feita uma pesquisa no número de enchentes e deslizamentos no estado do Rio de Janeiro, no período de 1966 a 2020, e seu número de pessoas afetadas. Esses dados foram obtidos pelo EM-DAT (2021).

Na segunda etapa é feita a categorização do desastre em situação de emergência, situação de crise, desastre menor, desastre moderado e desastre severo de acordo com a escala proposta por Eshgi e Larson (2008), que comparam o número de óbitos com as vítimas afetadas pelo desastre. O dimensionamento proposto por eles é relacionado aos fatores de vulnerabilidade da população quando ocorre um desastre.

Na terceira, fase bootstrap, é calculada a probabilidade de ocorrência de cada tipo de desastre por meio do método Bootstrap (EFRON, 1992), com o intuito de dar variabilidade extra na amostra. Para isso, são geradas 1000 amostras aleatórias a partir dos dados originais, cada amostra com 13 entradas.

Por fim, a avaliação de cenários, todas as variáveis aleatórias são consideradas dependentes do tipo do desastre, os desastres piores geram um número maior de vítimas, o que aumenta a demanda por suprimentos, nesse caso da água. A Tabela 2 apresenta os cenários utilizados (situação de emergência, situação de crise, desastre pequeno, desastre moderado e desastre severo) e suas respectivas probabilidades.

Tabela 2 – Cenários e Probabilidades

Cenário	Tipo de desastre	Probabilidade
1	Situação de Emergência	15,6%
2	Situação de crise	42,7%
3	Desastre pequeno	20,8%
4	Desastre moderado	10,3%
5	Desastre Severo	10,6%

O cálculo das doações é baseado em Kawasaki *et al.* (2012), que observa a doações de 146.800 litros de água potável, somando todas as organizações, em aproximadamente 8 dias de campanha – equivalente a 764,6 litros por hora. Para obtenção dos dados das doações de acordo com cada cenário é utilizada a distribuição uniforme, com valores aleatórios.

Para o cálculo da demanda é utilizado um gerador de números aleatórios baseado em uma distribuição uniforme com picos de vítimas em alguns períodos (MORENO *et al.*, 2018; ALEM *et al.*, 2016), de acordo com total de pessoas afetadas do EM-DAT (2021). O valor obtido foi dividido por 24, para obter a demanda em horas e dividido proporcionalmente para cada produto.

4.2. Caracterização do Caso

A pesquisa considera a CVB como organização de análise. Com o objetivo de calcular o custo de armazenagem, a organização forneceu as seguintes informações: aluguel R\$ 23.210,48 mensais; mão de obra R\$ 7.000,00 mensais. Sobre os espaços disponíveis, a organização possui três, que totalizam 1.920,96m³. O custo de armazenagem é de R\$ 15,72 mensais por m³. Como o modelo está em horas é necessário adaptação, resultando em R\$ 0,022 por m³ por hora. O valor deste custo por produto, o volume do produto e o custo de fornecimento, que foram determinados de acordo com o encontrado no mercado, são todos apresentados na Tabela 3. Além disso, como não existe histórico sobre a divisão de espaço entre produtos no depósito, para o cálculo do valor do produto é utilizada uma proporção de acordo com o espaço utilizado por cada produto, e considerando somente água como suprimento armazenado. Assim, são consideradas proporções de custo (apresentadas na Tabela 3). Os produtos utilizados são garrafa de 510mL (produto 1), garrafa de 1,5L (produto 2) e galão de 5L (produto 3), que são os normalmente utilizados em desastres de acordo com a experiência de especialistas.

Tabela 3 – Proporção, Custo de armazenagem, Volume dos produtos e Custo de fornecimento

Produto (i)	Proporção	c_i (R\$)	v_i (m ³)	ce_i (R\$)
1	0,2	0,000011	0,00051	1,49
2	0,3	0,000032	0,0015	1,99
3	0,5	0,000109	0,005	6,99

O estoque inicial foi baseado em Alem *et al.* (2016) e é definido como 19.000 unidades de 20 litros, totalizando 380.000 litros de água, a proporção utilizada é a mesma demonstrada na Tabela 3. O limite de compra foi utilizado de acordo com o encontrado na literatura no valor R\$ 1.000.000,00, de acordo com Brito Junior (2015). Da mesma forma que a capacidade de armazenagem, o orçamento é todo considerado para água, devido à falta de dados históricos. Além disso, considera-se que apenas 20% da demanda total dos cenários seria a atendida pela organização, seguindo panorama observado por Kawasaki *et al.* (2012) em outros desastres.

5. Resultados

5.1. Apresentação dos resultados

Aplicando o modelo de gestão proposto, pode-se concluir alguns *insights* gerenciais em relação a organização CVB. As funções de privação analisadas são as apresentadas na seção 3.2.3, e o horizonte de tempo é 0 a 120 horas, como proposto por Holguín-Veras *et al.* (2013). O modelo demora menos de um minuto para achar a solução ótima.

A primeira variável analisada é a falta de produtos, ou seja, quando a demanda não é atendida. Nos cenários 1 a 4 não houve falta em nenhuma das funções de privações utilizadas. No cenário 5 a falta ocorreu em todas as funções. A maior falta ocorre na função 1 no produto 1, o produto 2 e 3 possuem maior falta na função 3. A menor falta ocorre na função 1 no produto 3, para o produto 1 a menor falta ocorre na função 3, já para o produto 2 ocorre na função 2. Em relação as faltas totais de cada função, infere-se que a função que possui menor falta no total é a 3 e maior na função 1. Em relação ao tempo de atendimento médio, que é o tempo em que as pessoas ficaram sem água, nos cenários 1 a 4 não houve falta, então a população não fica sem atendimento. No cenário 5 ocorre atendimento atrasado de todos os produtos. Analisando os custos totais, houve uma grande discrepância entre as funções, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Custos totais, de privação, de armazenagem, de fornecimento e penalidade final

Custos (R\$)	Função 1	Função 2	Função 3	Função 4	Função 5.1	Função 5.2	Função 5.3
Total	1,12E+08	3,48E+10	2,34E+07	7,22E+09	1,30E+08	2,33E+08	4,23E+08
Custo de privação	2,70E+06	6,94E+08	3,87E+05	1,62E+08	2,77E+06	5,16E+06	9,31E+06
Custo de armazenagem	1.133,88	1.127,14	1.075,74	1.093,70	1.097,10	1.094,38	1.093,47
Custo de fornecimento	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
Custo penalidade final	1,08E+08	3,41E+10	2,20E+07	7,06E+09	1,26E+08	2,27E+08	4,13E+08

Os custos de privação também possuem uma grande discrepância, pois retratam o nível de atendimento de cada função, e elas penalizam o não atendimento de forma distinta. Esses valores também constam na Tabela 4. Outro custo importante de ser analisado é a penalidade final, ou seja, as demandas que ao final do período proposto não foram atendidas e por isso foram penalizadas. E da mesma forma que os outros custos houve uma grande discrepância, como consta na Tabela 4. Como os custos são diferentes é necessário analisar também a falta final de cada produto e cada função. Além disso, os valores totais de faltas de todos os produtos ao final do período determinado. Os últimos custos analisados são bem próximos em todas as funções, são os custos de armazenar e de fornecimento, e são apresentados na Tabela 4. Isso porque, o custo de fornecimento está limitado a R\$1.000.000,00, então todas as funções obtiveram esse valor. O custo de armazenamento é o somatório de todos os produtos armazenados multiplicados pelo custo de armazenamento de cada um, e em todos os cenários, então esse valor engloba a sobra que ocorre no cenário 1 pela discrepância entre as demandas dos cenários. Entretanto, percebe-se que a função 1 possui menor custo de armazenagem, visto que as compras do produto 1 não são priorizadas, percebe-se pela falta dele.

5.2. Discussão dos Resultados

Com isso, pode-se concluir para o estudo da CVB (na Tabela 5 as funções são listadas em ordem crescente, ou seja do resultado melhor para o pior) que se o objetivo da organização é reduzir as faltas de produtos, tanto de cada período como a do final do período, a função 3 é a que possui melhor resultado. Além disso, a função 3 é que possui menor custo e ao mesmo tempo melhor tempo de atendimento médio das demandas atrasadas. Enquanto, se o objetivo for a melhor entrega em litros, a função 1 possui melhor resultado e a função 3 o pior resultando, tanto nas faltas de cada período como no final do período. Assim, se um tomador de decisão for mais propenso ao risco usaria a função 1, enquanto outro avesso usaria a função 3.

Tabela 5 – Resumo dos Resultados da CVB

Ranking	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Faltas de cada período	3	5.3	4	5.2	5.1	2	1
Faltas ao Final do Período	3	5.3	4	5.2	5.1	2	1
Faltas de cada período em litros	1	2	5.1	5.2	4	5.3	3
Falta em litros, no final do período	1	2	5.1	5.2	4	5.3	3
Tempo de Atendimento Médio	3	2	1	5.1	4	5.2	5.3
Custo Total	3	1	5.1	5.2	5.3	4	2

Em relação aos custos totais da CVB, existe uma grande discrepância entre o menor custo (função 3) e o maior custo (função 2), que é de 99,9%. Em relação a função 1 e 5.1, a diferença entre a função 2 é de 99,6%. De forma semelhante, para a função 5.2 é de 99,3%. Em relação a função 5.3 a discrepância é de 98,7%. Em relação a função 4, que também possui alto custo é de 79,26%. A discrepância de custo entre as funções 1 e 3, que possuem melhores resultados, é de 96,6%. Com isso, a relevância das análises das funções de privação é confirmada.

6. Conclusões

O artigo cumpre seu objetivo ao (i) apresentar um modelo de gestão de estoque que considerada a privação da água a população afetada por desastres, estruturado em dois estágios, tendo a incerteza abordada de acordo com diferentes cenários possíveis; e (ii) simular o custo total da operação considerando diferentes funções objetivos identificadas na literatura.

A partir da análise dos resultados do estudo de caso da CVB, é possível identificar a disparidade dos resultados gerados por cada função, chegando a 99% de diferença em relação aos custos. A função 3, constante, possui melhor resultado, por possuir menor falta e melhor tempo de

atendimento, além de possuir o menor custo. Por outro lado, a função 1, quadrática, possui menor falta em litros, e possui custo maior que a função 3. Com isso, um tomador de decisão que se preocupe com a falta em relação as unidades, escolheria a função 3, e outro com o foco na falta em litros, escolheria a função 1.

Como proposta de estudo futuro, sugere-se a aplicação do modelo para alimentos e outros suprimentos de alívio, adicionando suas especificações que podem alterar a modelagem, como a inclusão do prazo de validade dos produtos e a necessidade de armazenagem diferenciada, além de outros estudos empíricos para que se possa avaliar a padronização da função de privação que é a melhor a ser utilizada.

REFERÊNCIAS

- ALEM, D.; CLARK, A.; MORENO, A.. Stochastic network models for logistics planning in disaster relief. **European Journal of Operational Research**, v. 255, n. 1, p. 187-206, 2016.
- BALCIK, B.; BEAMON, B. M.; SMILOWITZ, K.. Last mile distribution in humanitarian relief. **Journal of Intelligent Transportation Systems**, v. 12, n. 2, p. 51-63, 2008.
- BALCIK, B.; BOZKIR, C. D.; KUNDAKCIOGLU, O. E.. A literature review on inventory management in humanitarian supply chains. *Surveys in* **Operations Research and Management Science**, v. 21, n. 2, p. 101-116, 2016.
- BRITO JUNIOR, I.. **Localização de depósitos de suprimentos de alívio para resposta a desastres através de programação linear estocástica e análise de decisão com múltiplos critérios**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
doi:10.11606/T.3.2016.tde-31032016-092607. Acesso em: 2021-06-05.
- BRITO JUNIOR, I. D.; LEIRAS, A.; YOSHIZAKI, H. T. Y.. A multi-criteria stochastic programming approach for pre-positioning disaster relief supplies in Brazil. **Production**, v. 30, 2020.
- BROWN, G. G.; DELL, R. F. Formulating integer linear programs: A rogues' gallery. **INFORMS Transactions on Education**, v. 7, n. 2, p. 153-159, 2007.
- CAUCHICK MIGUEL, P. A., FLEURY, A., MELLO, C., NAKANO, D. N., TURRIONI, J. B., LIMA, E.P., HO L.L., MORABITO R., MARTINS, R.A., SOUSA, R., COSTA, S.E.G., PUREZA, V.. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: **Elzevir**, 2012.

CAVDUR, F.; KOSE-KUCUK, M.; SEBATLI, A.. Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 19, p. 159-166, 2016.

CONDEIXA, L. D.; LEIRAS, A.; OLIVEIRA, F.; DE BRITO JR, I. Disaster relief supply pre-positioning optimization: A risk analysis via shortage mitigation. **International journal of disaster risk reduction**, v. 25, p. 238-247, 2017.

CRED - **Centre of Research for the Epidemiology of Disasters**. International Disaster Database 2021, 2022. Disponível em: <http://www.emdat.be/>. Acesso em: 18 de maio 2022.

CVB. **Cruz Vermelha Brasileira**. Disponível em: <<https://www.cruzvermelharj.org.br/>>. Acesso em: 10 de junho de 2021.

EFRON, B.. Bootstrap methods: another look at the jackknife. In: Breakthroughs in statistics. **Springer**, New York, NY, 1992. p. 569-593.

EM-DAT (2021). **The international disaster database**. Disponível em: <https://public.emdat.be/data> .Acesso em: 24/05/2021.

ESFERA, A. O manual Esfera: Carta Humanitária e Normas Mínimas para resposta Humanitária. **Manual Genebra, Suíça: Associação Esfera**, 2018.

ESHGHI, K.; LARSON, R. C. Disasters: lessons from the past 105 years. **Disaster Prevention and Management: An International Journal**, 2008.

GRASS, E.; FISCHER, K.. Two-stage stochastic programming in disaster management: A literature survey. Surveys in **Operations Research and Management Science**, v. 21, n. 2, p. 85-100, 2016.

HOLGUÍN-VERAS, J.; JALLER, M.; VAN WASSENHOVE, L. N.; PÉREZ, N.; WACHTENDORF, T.. On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. **Journal of Operations Management**, v. 30, n. 7-8, p. 494-506, 2012.

HOLGUÍN-VERAS, J.; PÉREZ, N.; JALLER, M.; VAN WASSENHOVE, L. N.; AROS-VERA, F.. On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. **Journal of Operations Management**, v. 31, n. 5, p. 262-280, 2013.

HOLGUÍN-VERAS, J.; AMAYA-LEAL, J.; CANTILLO, V.; VAN WASSENHOVE, L. N.; AROS-VERA, F.; JALLER, M. .Econometric estimation of deprivation cost functions: A contingent valuation experiment. **Journal of Operations Management**, v. 45, p. 44-56, 2016.

HU, S.; DONG, Z. S.. Supplier selection and pre-positioning strategy in humanitarian relief. **Omega**, v. 83, p. 287-298, 2019.

KAWASAKI, B. C.; BRITO JR, I.; LEIRAS, A.; YOSHIZAKI, H.T.Y.. Logística de resposta a desastres: o caso das chuvas no vale do Paraíba Paulista em janeiro de 2010. In: **Anais do XXXII Congresso Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. 2012.

LEIRAS, A.; RIBAS, G.; HAMACHER, S.; ELKAMEL, A. Tactical and operational planning of multirefinery networks under uncertainty: an iterative integration approach. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 52, n. 25, p. 8507-8517, 2013.

LEIRAS, A.; DE BRITO JR, I.; PERES, E. Q.; BERTAZZO, T. R.; YOSHIZAKI, H. T. Y.. Literature review of humanitarian logistics research: trends and challenges. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, 2014.

MACEA, L. F., AMAYA, J., CANTILLO, V., & HOLGUIN-VERAS, J.. Evaluating economic impacts of water deprivation in humanitarian relief distribution using stated choice experiments. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 28, p. 427-438, 2018.

MORENO, A.; ALEM, D.; FERREIRA, D.; CLARK, A. An effective two-stage stochastic multi-trip location-transportation model with social concerns in relief supply chains. **European Journal of Operational Research**, v. 269, n. 3, p. 1050-1071, 2018.

RIBAS, G. P.; LEIRAS, A.; HAMACHER, S.. Operational planning of oil refineries under uncertainty Special issue: Applied Stochastic Optimization. **IMA Journal of Management Mathematics**, v. 23, n. 4, p. 397-412, 2012.

SHAO, J.; WANG, X.; LIANG, C.; HOLGUÍN-VERAS, J.. Research progress on deprivation costs in humanitarian logistics. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 42, p. 101343, 2020.

SILVA, M. A.; LEIRAS, A.. The Deprivation Cost in Humanitarian Logistics: A Systematic Review. In: **International Joint conference on Industrial Engineering and Operations Management**. Springer, Cham, 2021. p. 279-301.

THOMAS, A.; MIZUSHIMA, M.. Logistics training: necessity or luxury. Forced migration review, v. 22, n. 22, p. 60-61, 2005.