

# Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

**DEI**  
DEPARTAMENTO  
DE ENGENHARIA  
INDUSTRIAL

Número 17 | 09 2021

Gestão de estoque de suprimentos humanitários para resposta a desastres: uma modelagem baseada em custos de privação

Autora:

Maria Angélica Gomes da Silva



# Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

Número 17 | 04 2021

## Gestão de estoque de suprimentos humanitários para resposta a desastres: uma modelagem baseada em custos de privação

**Autora:**

**Maria Angélica Gomes da Silva**

**CRÉDITOS:**

SISTEMA MAXWELL / LAMBDA  
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

**Organizadores:** Fernanda Baião / Soraida Aguiar

**Layout da Capa:** Aline Magalhães dos Santos

# APRESENTAÇÃO PESSOAL



- Graduação em Engenharia de Produção na Universidade Católica de Petrópolis
- Mestrado com Orientação da Professora Adriana Leiras (PUC-Rio) em Gerência da Produção
  - 4º período
- Artigo publicado:
  - SILVA, Maria Angélica; DE PAULA, Itaiane; LEIRAS, Adriana. EPQ Model with Partial Backordering Considering Environmental Aspects and Stochastic Demand. In: International Joint conference on Industrial Engineering and Operations Management. Springer, Cham, 2020. p. 115-126.
- Aguardando publicação, IJCIEOM:
  - The deprivation cost in humanitarian logistics: a systematic review  
Será publicado como capítulo de livro
  - The use of social media in monitoring pandemics: a systematic review  
BRAGA, ANTONIO ANDREI PINHO ; SILVA, MARIA ANGÉLICA GOMES DA ; LEIRAS, ADRIANA ; SILVA, DANIEL RICARDO ECKHARDT DA ; THOME, ANTONIO MARCIO TAVARES . The use of social networks in the monitoring of infectious diseases: a systematic review. In: IJCIEOM 2020 International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2020, Online Platform, 2020.

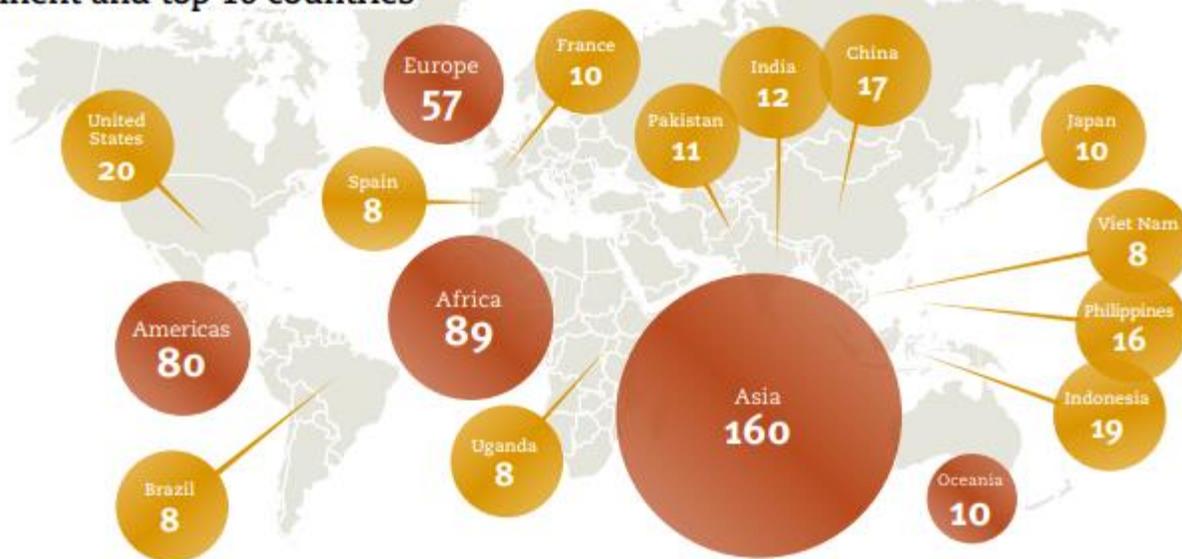
- INTRODUÇÃO
- METODOLOGIA DE PESQUISA
- MODELO DE GESTÃO DE ESTOQUE
- VALIDAÇÃO DO MODELO
- CRONOGRAMA

No ano de 2019:

- 396 desastres foram relatado;
- 11755 vidas perdidas;
- 94,9 milhões de pessoas foram afetadas ;
- US\$ 103 bilhões em perdas.



Number of disasters by continent and top 10 countries



## Logística Humanitária

Caracterizada como a linha de pesquisas que investiga o processo de planejar, programar e controlar estoques de mercadorias eficientemente e com custo mitigado, com o objetivo de atender a propósitos dos beneficentes.

(Thomas e Mizusjima, 2005)

## Gestão de Estoques

Balcik *et al.* (2016) destacam a carência de estudos referentes ao custo de ordens perdidas, que consideram não apenas o lado econômico, mas também no âmbito social - isto é, a privação de não ter determinado recurso.

## Suprimentos de Alívio

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, falta de água.  
(Balcik *et al.*, 2008).

## Custo de Privação

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 bem que é essencial em casos de desastres. Esse sofrimento, quando quantificável, é considerado como custo de privação.

## Pergunta de Pesquisa

Como modelar a privação na gestão de estoque de suprimentos de alívio para garantir a melhor entrega para a população afetada?

# Objetivos

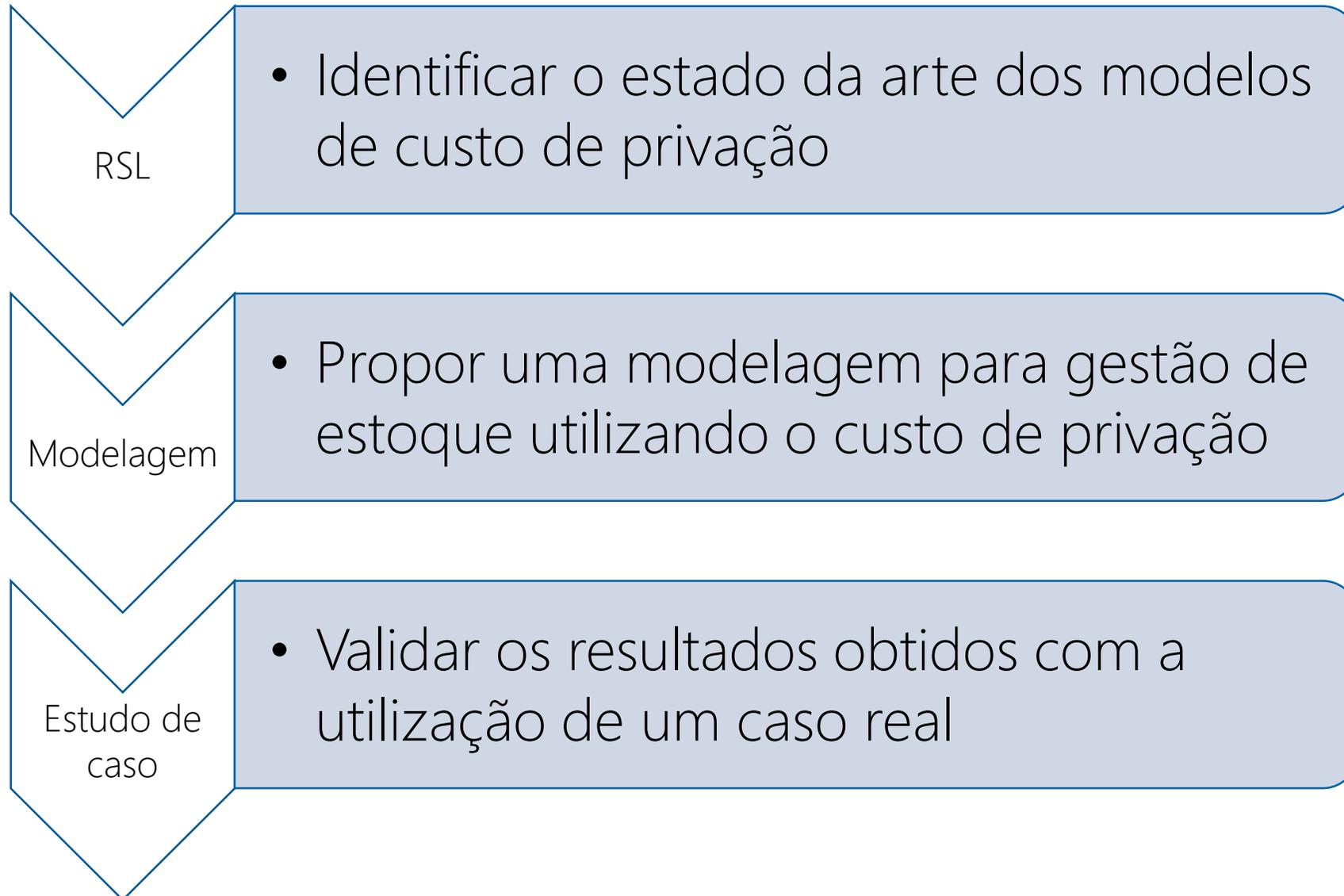
### Principal:

Analisar os efeitos da falta de suprimentos de alívio a população afetada por desastres

### Específicos:

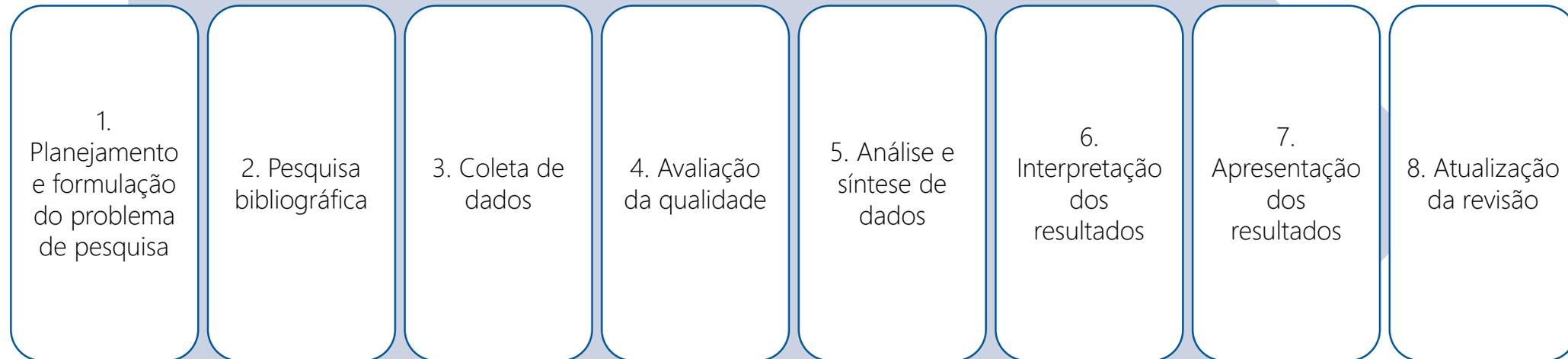
- Entender o estado da arte sobre custo de privação em modelos de Logística Humanitária, e como pode ser feita uma modelagem em gestão de estoque em LH;
- Desenvolver um modelo matemático de gestão de estoques de água, um suprimento de alívio essencial a sobrevivência humana, considerando o custo de privação;
- Validar os resultados obtidos por meio de um estudo empírico.

## Metodologia de Pesquisa



# Metodologia de Pesquisa

Foram utilizado os 8 passos de Thomé *et al.* (2016) para a elaboração da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que são os seguintes:



1.  
Planejamento  
e formulação  
do problema  
de pesquisa

2. Pesquisa  
bibliográfica

**Problema de Pesquisa:**

Qual é o estado da arte dos modelos de custo de privação?

**Banco de dados:**

Scopus e Web of Science (WoS)

**Palavras-chaves:**

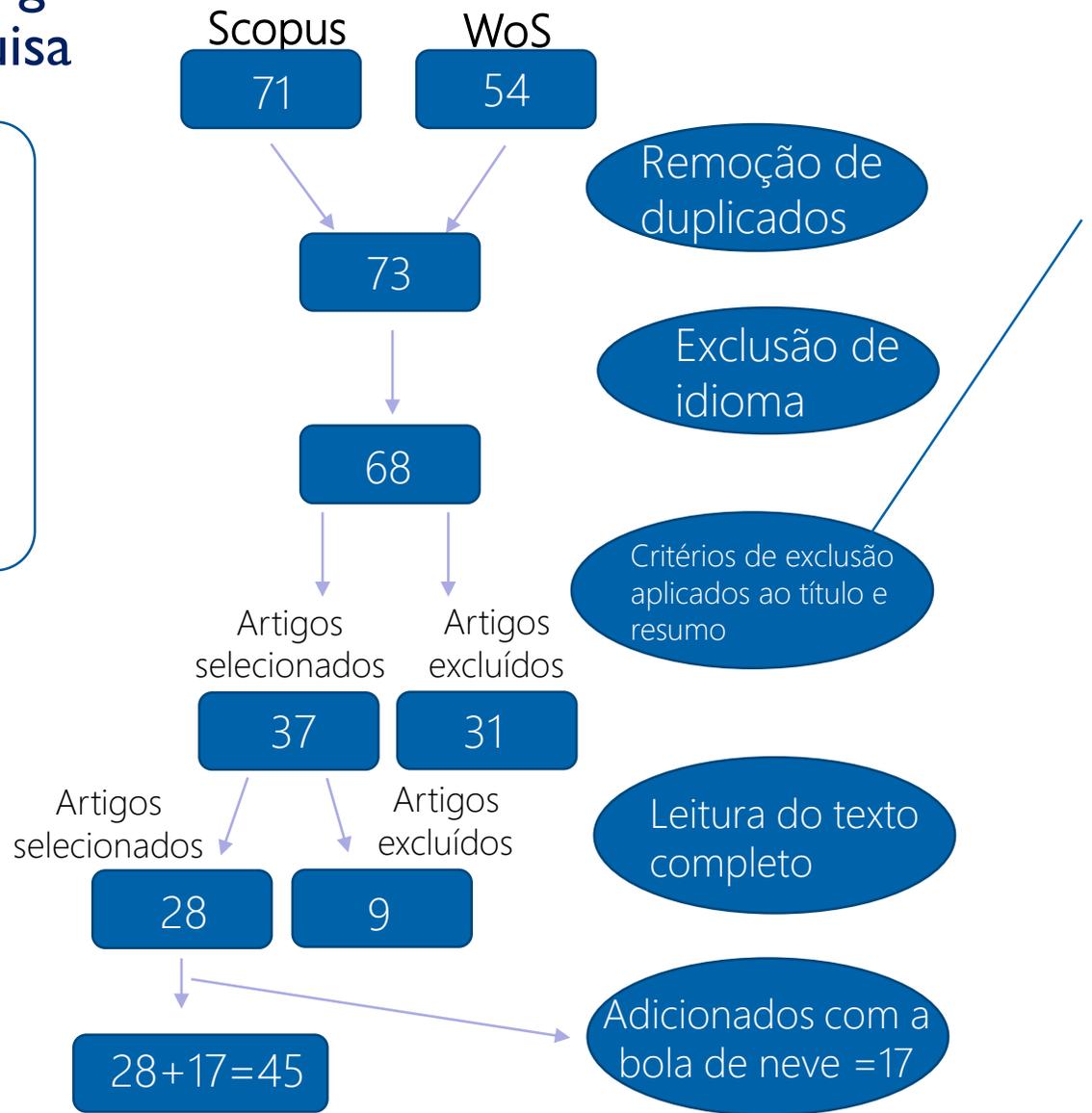
"deprivation cost\*" OR "unmet demand\*"

AND

"disaster" OR "relief" OR "humanitaria\*"

# Metodologia de Pesquisa

- 1. Planejamento e formulação do problema de pesquisa
- 2. Pesquisa bibliográfica



- Critérios de exclusão:
1. Exclusão de artigos publicados em anais de conferências e capítulos de livros;
  2. Artigos que não possuem modelos de custo de privação ou demanda não atendida;
  3. Artigos fora da área de logística humanitária.

# Metodologia de Pesquisa

## 3. Coleta de dados

Identificar e informar os artigos selecionados na etapa anterior;  
Criou-se um modelo de coleta de dados padrão para permitir rastreabilidade total e utilizando um formato de matriz;  
Preencheu-se esta matriz em formato de planilha com o conteúdo dos dados da busca bibliográfica, tais como título, autores, ano de publicação, tipo de desastre, descrição dos modelos e metodologia utilizada.

## 4. Avaliação da qualidade

Garantiu-se a avaliação da qualidade pelo uso e seleção de artigos revisados por pares indexados nas bases de dados Scopus e WoS

## 5. Análise e síntese de dados

## 6. Interpretação dos resultados

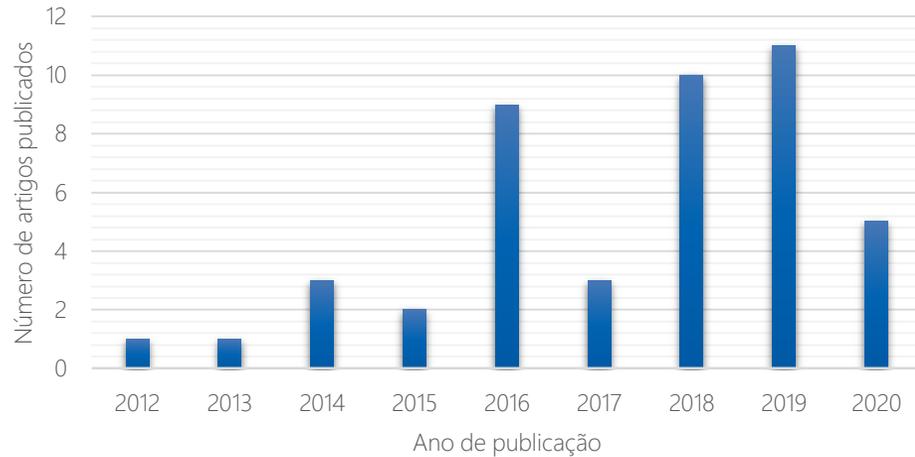
## 7. Apresentação dos resultados

## 8. Atualização da revisão

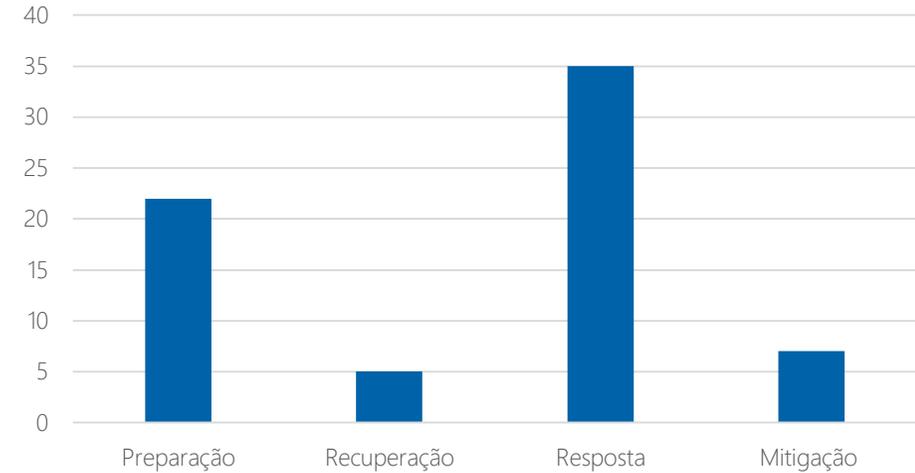
A análise taxonômica resultou da quinta, sexta e sétima etapas, com a seleção dos artigos.

Está fora do escopo deste artigo, e é proposto como pesquisas futuras.

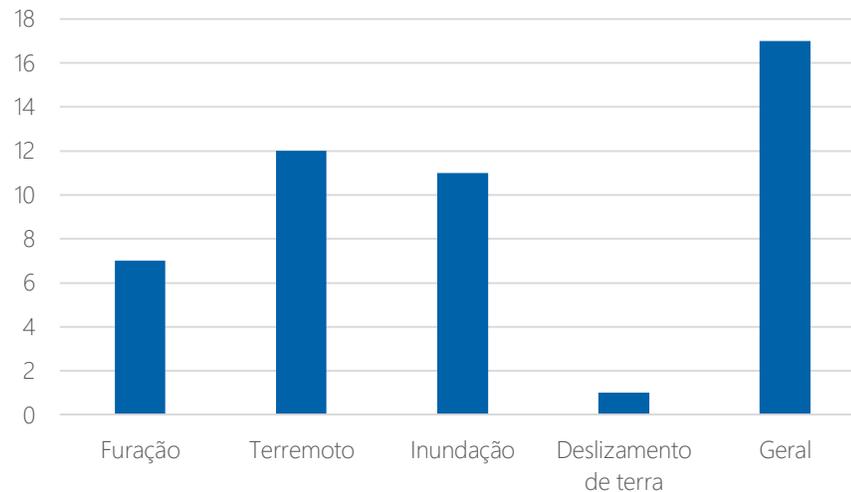
## Análise descritiva da RSL



Número de artigos publicados por ano



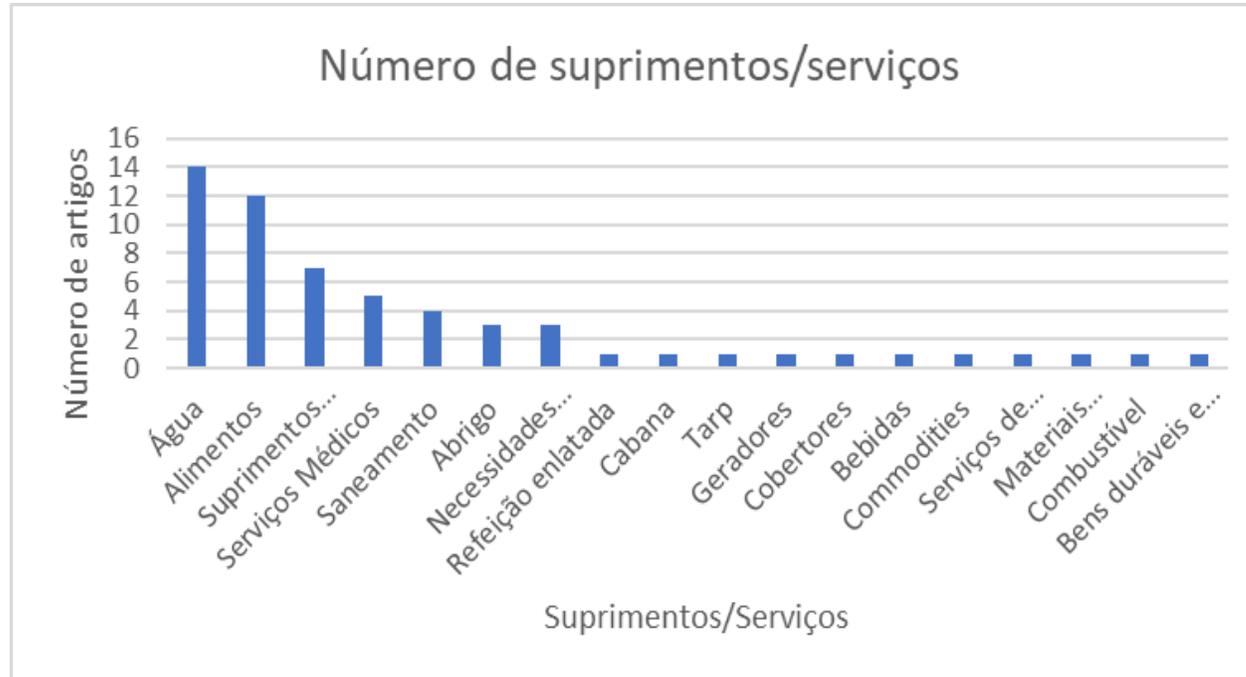
Número de artigos publicados de acordo com a fase do desastre



Número de artigos publicados de acordo com o tipo de desastre

# Fundamentação Teórica

## Análise descritiva da RSL



Número de artigos que abordam cada suprimento ou serviço

# Fundamentação Teórica

Artigo	Ano	Tipos de Desastres	Caso de Estudo	Modelagem Abordada	Suprimento/Serviço	Fase do Desastre	Demanda não atendida ou Custo de Privação
Yushimito et al. (2012)	2012	Furacão	Louisiana e Mississippi, EUA	A função de custo de privação é sensível ao tipo de mercadoria e ao intervalo de tempo sem a mercadoria	-	Preparação	Custo de Privação
Holguín-Veras et al. (2013)	2013	Geral	Experimentos Numéricos	O custo de privação é uma função do tempo de privação	Água	Resposta e Recuperação	Custo de Privação
Rezaei-Malek e Tavakkoli-Moghaddam (2014)	2014	Terremoto	Área de Seattle, EUA	Custo total da penalidade da demanda não atendida que considera a prioridade de cada ponto de demanda para cada fornecimento implicitamente por valores de penalidade de valor	Suprimentos Médicos	Resposta	Demanda não atendida
Kelle et al. (2014)	2014	Furacão	Costa do Golfo da Louisiana, EUA	O custo de privação é uma penalidade de escassez constante	Água, comida enlatada, cabana, lona e geradores	Preparação e resposta	Custo de Privação
Das e Hananka (2014)	2014	Terremoto	Grande Leste do Japão	O custo de privação aumenta com o atraso na entrega	-	Resposta	Custo de Privação
Huang et al. (2015)	2015	Terremoto	Sichuan, China	O custo de privação é modelado como uma função linear do custo de atraso, que é medido pelo tempo de atraso e a consequência do atraso	-	Resposta	Custo de Privação
Khayal et al. (2015)	2015	Geral	Análise Numérica	O custo de privação é uma função das unidades de recursos atrasadas e do custo da penalidade de atraso da unidade. O custo de privação aumenta com atrasos no tempo necessário para satisfazer a demanda	-	Resposta	Custo de Privação
Diedrichs et al. (2016)	2016	Geral/Furacão	Simulações numéricas / costa sudeste dos EUA	O Custo de Privação é modelado como uma função de probabilidade de morte em uma determinada etapa de tempo em um processo semelhante à construção de uma tábua de vida atuarial. A probabilidade de morte por privação de uma mercadoria de cada vez segue uma função sigmóide	Produtos de alta prioridade: água, alimentos / produtos de baixa prioridade: suprimentos médicos, abrigo, cobertores	Resposta	Custo de Privação
Pradhananga et al. (2016)	2016	Geral	Análise Numérica	O custo de privação aumenta exponencialmente com o tempo de privação	-	Preparação e resposta	Custo de Privação

## Funções de Custo de Privação encontradas na Literatura

$$\text{custo de privação} = \begin{cases} 2393,9(\text{tempo de privação}) & \text{se } 0 < \text{tempo de privação} \leq 105 \\ 333642(\text{tempo de privação} - 105) + 251359,5 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

Holguín-Veras *et al.* (2013)

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

---

$$\text{custo de privação} = (e^{b \cdot L} - 1) \times e^{a + bLS_{i,t}} \quad (3)$$

Onde:

*a e b*: parâmetros de privação

*L*: divisão em horas de cada período

*S<sub>i,t</sub>*: Estado da área afetada *i* no tempo *t*

Yu *et al.* (2018)

Yu *et al.* (2019)

## Funções de Custo de Privação encontradas na Literatura

$$g_w^{HP}(\delta) = NP_w \cdot CM_w \cdot \frac{e^{1,5031+0,1172\delta} - e^{1,5031}}{e^{1,5031+0,1172 \cdot |\Delta w|} - e^{1,5031}} \quad (4)$$

$$g_w^{LP}(\delta) = NP_w \cdot CM_w \cdot \frac{e^{0,065\delta} - 1}{e^{0,065|\Delta w|} - 1} \quad (5)$$

Moreno *et al.* (2018)

Onde:

$g_w$ : função de custo de privação

$NP_w$ : número de pessoas afetadas pela falta do item  $w$

$CM_w$ : máximo custo de privação por pessoa do item  $w$

$|\Delta_w|$ : número de períodos que a demanda não atendida possui maior penalidade

$\delta$ : tempo de privação

---

## Funções de Custo de Privação encontradas na Literatura

Para o valor da vida = \$200.000

$$\text{custo de privação 1} = 0,2869e^{0,0998\text{tempo de privação}} \quad (6)$$

Para o valor da vida = \$1.000.000

$$\text{custo de privação 2} = 0,2354e^{0,1129\text{ tempo de privação}} \quad (7)$$

Para o valor da vida = \$5.000.000

$$\text{custo de privação 3} = 0,1932e^{0,1259\text{ tempo de privação}} \quad (8)$$

Holguín-Veras *et al.* (2016)

---

Wang *et al.* (2020)  $\text{custo de privação} = \begin{cases} 4\text{tempo de privação} & \text{se } 1 \leq \text{tempo de privação} \leq 119 \text{ minutos} \\ 484 + 438(\text{tempo de privação} - 120) & \text{se } 120 \leq \text{tempo de privação} \leq 239 \text{ minutos} \\ 53051 + 49558(\text{tempo de privação} - 240) & \text{se } 240 \leq \text{tempo de privação} \leq 359 \text{ minutos} \\ 6000000 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (9)$

Macea *et al.* (2018)

$$\text{custo de privação} = 0,0216255t^2 + 0,052425t + 0,8272 \quad (10)$$

Cantillo *et al.* (2019)

Onde  $t$  é o tempo de privação.

## Gaps Encontrados:

- Foram encontradas diversas funções de privação porém sem nenhuma relação entre elas;
- Necessidade de pesquisas sobre como estimar empiricamente as funções de custo de privação (Holguín-Veras *et al.*, 2013);
- Aplicação de funções não lineares de custo de privação (Kelle *et al.*, 2014);
- A função de custo de privação precisa ser caracterizada por meio de alguns estudos empíricos, e inclusão da incerteza de suprimentos e demanda (Yu *et al.*, 2018).

## Contribuição do trabalho:

- Desenvolvimento do modelo de gestão de estoque considerando o custo de privação e incerteza;
- Comparação e análise entre as funções de privação encontradas;
- Aplicação do modelo em um caso real.

# Modelo Gestão de Estoque

Nomenclatura:

Índices	
$t$	Tempo
$tt$	Auxiliar de $t$
$i$	Produto
$s$	Cenário
Parâmetros determinísticos (unidade)	
$C_i$	Custo de armazenar o produto $i$ (\$)
$V_i$	Volume de do produto $i$ (m <sup>3</sup> )
$Fdc_{i,t}$	Função do custo de privação no tempo $t$ (\$)
$CM$	Capacidade máxima de estoque (m <sup>3</sup> )
$L$	Limite orçamentário de compra
$M$	Número grande auxiliar
$CE_i$	Custo de fornecimento de cada produto $i$ (\$)
$ES_i$	Estoque inicial de cada produto $i$

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 $s$
$DO_{i,t,s}$	Doação de cada produto $i$ no tempo $t$ no cenário $s$
Variáveis de Primeiro estágio	
$Z_{i,t}$	Quantidade comprada de cada produto $i$ no tempo $t$
Variáveis de Segundo estágio	
$Y_{i,t,s}$	Quantidade armazenada de cada produto $i$ no tempo $t$ no cenário $s$
$F_{i,t,tt,s}$	Quantidade que faltou do produto $i$ no tempo $t$ no cenário $s$
$B_{i,t,tt,s}$	Quantidade produto $i$ no cenário $s$ que faltou no tempo $tt$ e foi atendida no tempo $t$
$K_{i,t,s}$	Quantidade não utilizada do produto $i$ no tempo $t$ no cenário $s$
$X_{i,t,s}$	Variável binária para auxiliar no fluxo de produto, de acordo com o produto $i$ , tempo $t$ e cenário $s$

## Modelagem Matemática

### Primeiro Estágio

$$\text{Min } \{\sum_{i,t} CE_i Z_{i,t} + Q(X, S, c)\}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i,t} CE_i Z_{i,t} \leq L$$

$$D_{i,t,s} + Y_{i,t,s} = Z_{i,t} + F_{i,t,tt,s} + ES_i + DO_{i,t,s} \quad \forall i, s, t, tt | t = 1 \text{ e } t = tt$$

$$D_{i,t,s} + Y_{i,t,s} + K_{i,t,s} = Z_{i,t} + F_{i,t,tt,s} + Y_{i,t-1,s} + DO_{i,t,s} \quad \forall i, s, t, tt | t = tt$$

### Segundo Estágio

$$Q(X, S, c) = \sum_{i,t,s} Prob_s C_i Y_{i,t,s} + \sum_{i,s,t,tt} Prob_s Fdc_{i,t-tt} A_{i,tt,t,s} + \sum_{i,tt,s} Prob_s F_{|T|,tt,s,i} Fdc_{i,|T|-tt}$$

Sujeito a:

$$\sum_i Y_{i,t,s} V_i \leq CM \quad \forall t, s$$

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

$$F_{i,t,tt,s} \leq Z_{i,t} + X_{i,t,s} D_{i,t,s} \quad \forall i, s, t, tt | tt = t$$

$$F_{i,t,tt,s} \leq D_{i,t,s} \quad \forall i, s, t, tt | tt = t$$

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

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

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

$$X_{i,t,s} \in \{0,1\}$$

# Validação do Modelo

Produtos Considerados:

1. Copo de 200 ml- produto 1
2. Garrafa de 510 ml – produto 2
3. Galão de 10L – produto 3

Necessidade por hora de água segundo Holguín-Veras *et al.* (2016): 160 ml

Intervalo de tempo utilizado: 0-120h

Capacidade máxima de estocagem: 2250 m<sup>3</sup>

3 cenários foram utilizados com as seguintes probabilidades: 0,22;0,56 e 0,22

A demanda e a doação foram escolhidas de forma aleatória

O limite orçamentário de compra foi definido como \$ 3.000.000

Na tabela encontram-se outros parâmetros utilizados.

$i$	$C_i$ (\$)	$V_i$ (m <sup>3</sup> )	$ES_i$	$CE_i$ (\$)
1	0,01	0,0002	100	0,99
2	0,02	0,00051	150	1,49
3	0,05	0,01	200	15,99

# Validação do Modelo

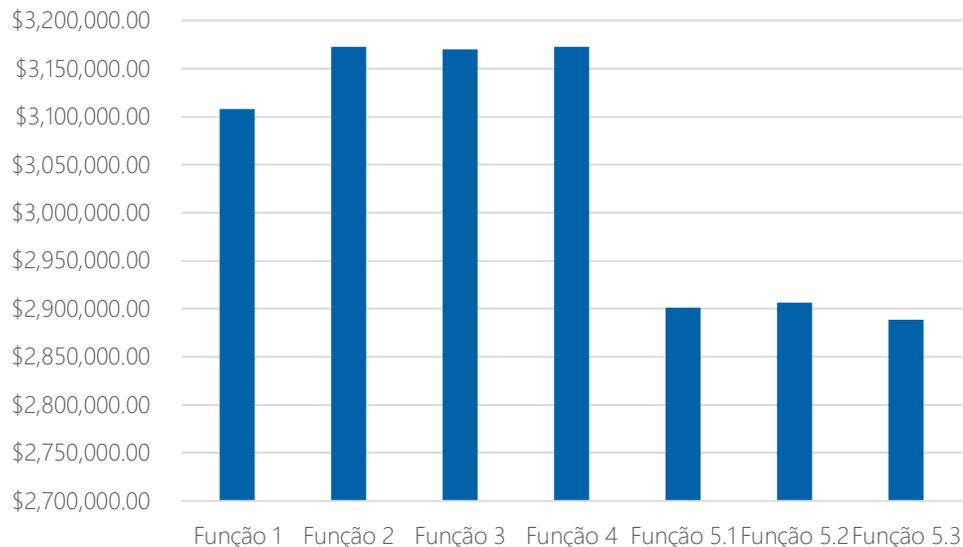


Gráfico dos custos totais de acordo com cada função de privação

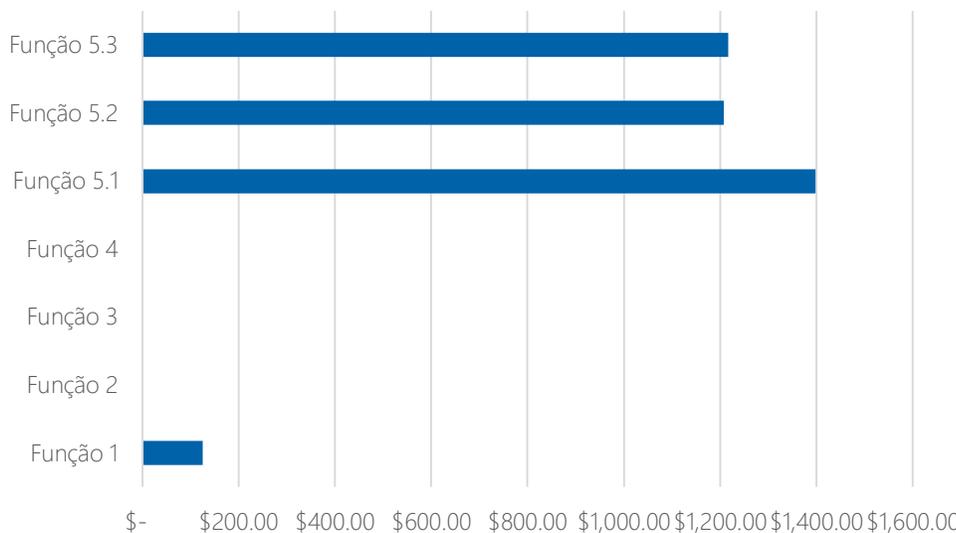


Gráfico dos custos decorrentes da privação de acordo com cada função de privação

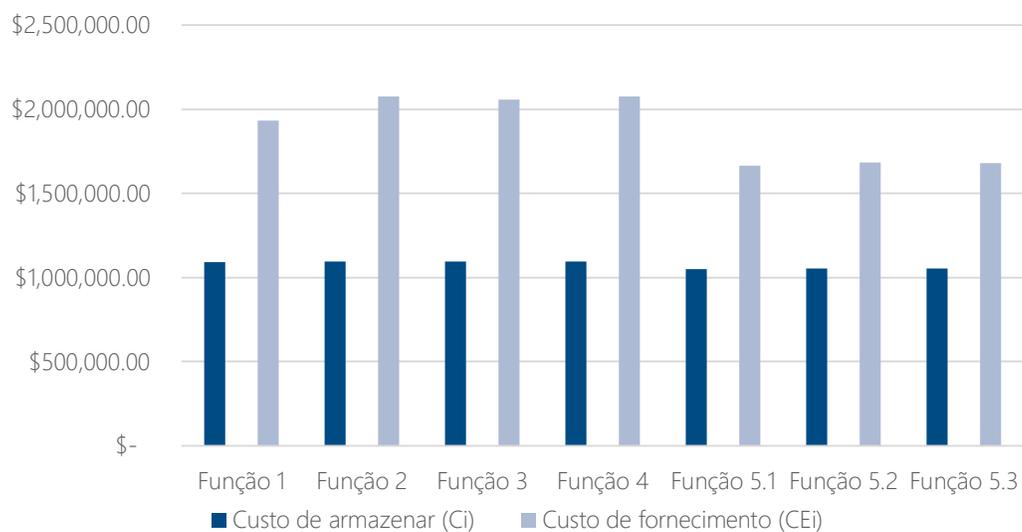


Gráfico dos custos de armazenar e de fornecimento de acordo com cada função de privação

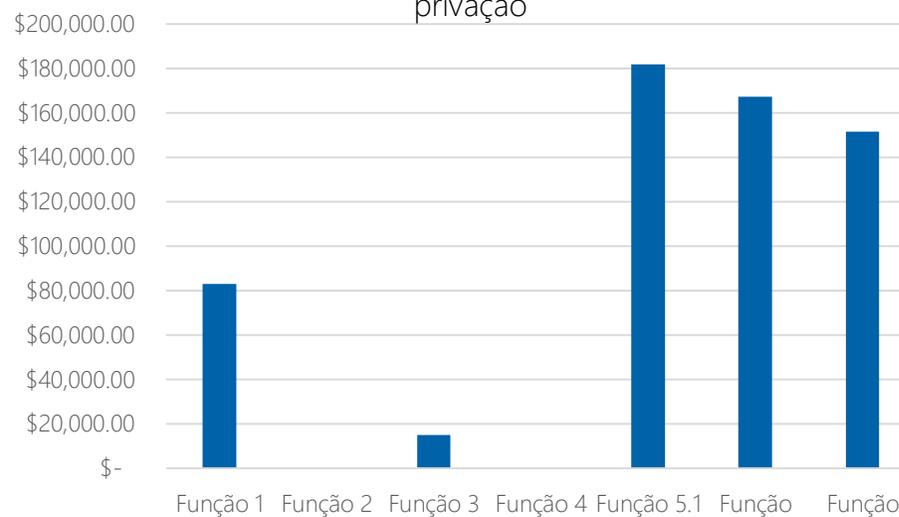
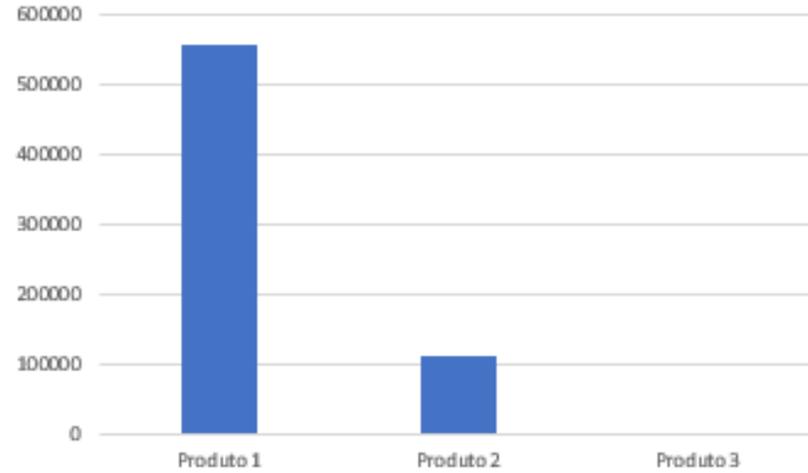
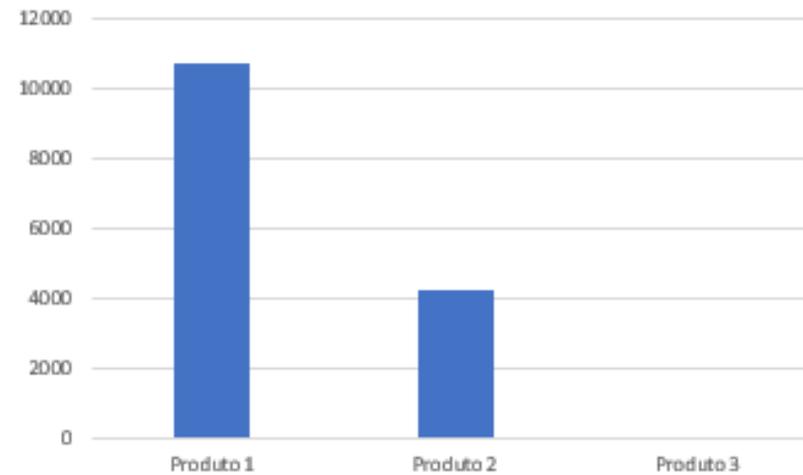


Gráfico dos custos da penalidade final do período de acordo com cada função de privação

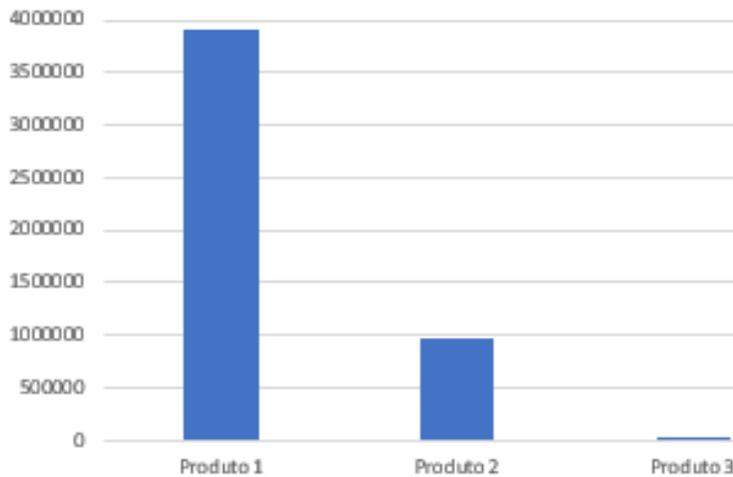
# Validação do Modelo



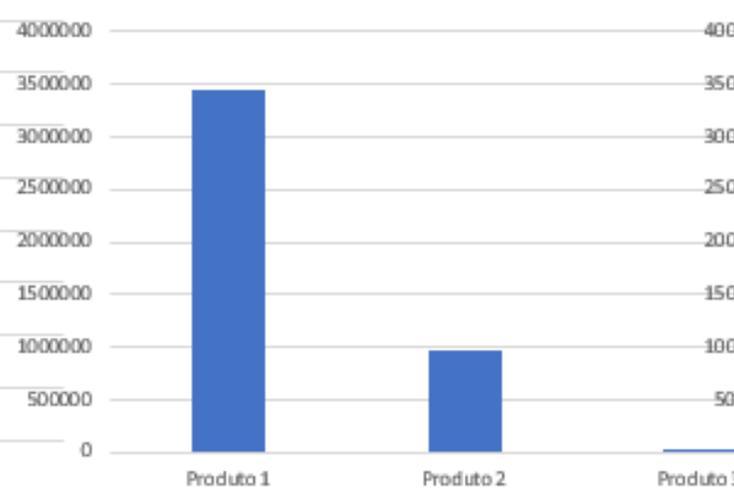
(a) Gráfico de faltas da função 1 de acordo com cada produto



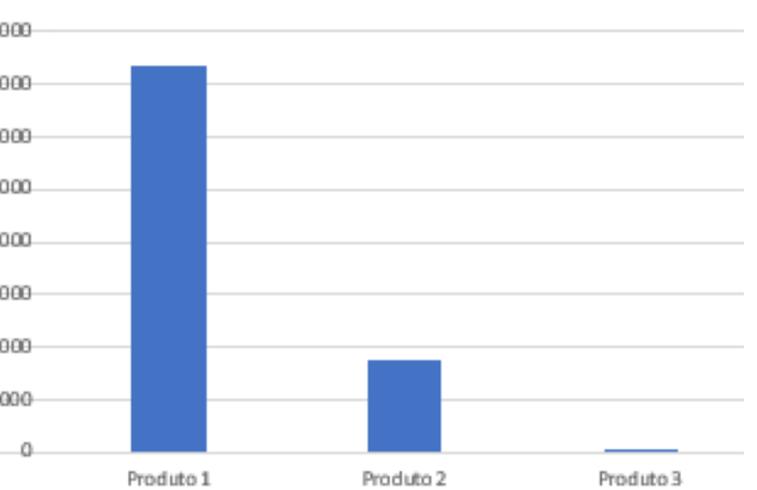
(b) Gráfico de faltas da função 3 de acordo com cada produto



(c) Gráfico de faltas da função 5.1 de acordo com cada produto



(d) Gráfico de faltas da função 5.2 de acordo com cada produto



(e) Gráfico de faltas da função 5.3 de acordo com cada produto

Gráfico das faltas dos produtos de acordo com a função de privação

# Validação do Modelo

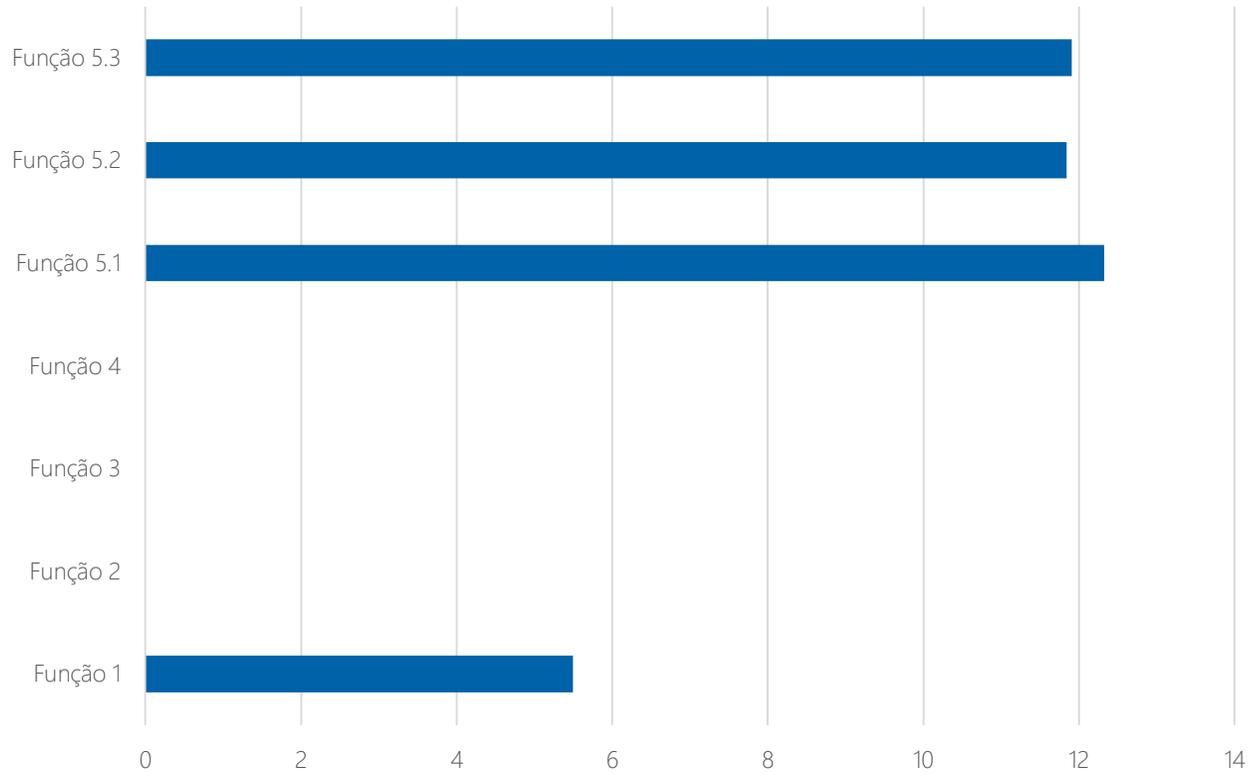


Gráfico do tempo médio de atendimento das faltas de acordo com a função de privação

# Cronograma

Tarefas/Período	Abr/21	Mai/21	Jun/21	Jul/21
Aplicar o modelo ao caso real	X			
Redigir capítulo de Resultados	X	X		
Testes em caso real	X	X		
Análises em caso real	X	X		
Redigir capítulo Estudo de caso		X	X	
Redigir conclusão			X	X
Redigir artigo final			X	X
Defesa				X

- Balcik, B., Beamon, B. M., & Smilowitz, K. (2008). Last mile distribution in humanitarian relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51-63.
- Balcik, B., Bozkir, C. D. C., & Kundakcioglu, O. E. (2016). A literature review on inventory management in humanitarian supply chains. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 21(2), 101-116.
- Cantillo, V., Macea, L. F., & Jaller, M. (2019). Assessing vulnerability of transportation networks for disaster response operations. *Networks and Spatial Economics*, 19(1), 243-273.
- CRED - Centre of Research for the Epidemiology of Disasters. International Disaster Database 2019, 2020. Disponível em: <http://www.emdat.be/>. Acesso em: 25 de agosto 2020.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N., & Wachtendorf, T. (2012). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30(7-8), 494-506.
- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & 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., Amaya-Leal, J., Cantillo, V., Van Wassenhove, L. N., Aros-Vera, F., & Jaller, M. (2016). Econometric estimation of deprivation cost functions: A contingent valuation experiment. *Journal of Operations Management*, 45, 44-56.
- Macea, L. F., Amaya, J., Cantillo, V., & Holguín-Veras, J. (2018). Evaluating economic impacts of water deprivation in humanitarian relief distribution using stated choice experiments. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 427-438.
- Moreno, A., Alem, D., Ferreira, D., & Clark, A. (2018). An effective two-stage stochastic multi-trip location-transportation model with social concerns in relief supply chains. *European Journal of Operational Research*, 269(3), 1050-1071.
- THOMAS, A.; KOPCZAK, L. R. From logistics to supply chain management: the path forward in the humanitarian sector. Fritz Institute 17, 2005
- Thomé, A. M. T., Scavarda, L. F., & Scavarda, A. J. (2016). Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, 27(5), 408-420.
- Wang, X. J., & Paul, J. A. (2020). Robust optimization for hurricane preparedness. *International Journal of Production Economics*, 221, 107464.
- Yu, L., Zhang, C., Yang, H., & Miao, L. (2018). Novel methods for resource allocation in humanitarian logistics considering human suffering. *Computers & Industrial Engineering*, 119, 1-20.
- Yu, L., Yang, H., Miao, L., & Zhang, C. (2019). Rollout algorithms for resource allocation in humanitarian logistics. *IIE Transactions*, 51(8), 887-909.

# Obrigada!



 mari\_angelicags\_94@hotmail.com