

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CAMPUS DE SOROCABA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**PRODUÇÃO- PPGEPS**

**HÉCTOR FABIO BONILLA LONDOÑO**

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA A REDE HUMANITÁRIA DE**  
**SUPRIMENTOS NO BRASIL**

**SOROCABA, SÃO PAULO**  
**2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CAMPUS DE SOROCABA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**PRODUÇÃO- PPGEP-S**

**HÉCTOR FABIO BONILLA LONDOÑO**

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA A REDE HUMANITÁRIA DE**  
**SUPRIMENTOS NO BRASIL**

Texto apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção para a realização do exame de defesa, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Douglas José Alem Júnior  
Coorientadora: Profa. Dra. Deisemara Ferreira

SOROCABA, SÃO PAULO

2018

BONILLA LONDOÑO, HÉCTOR FABIO

MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA A REDE HUMANITÁRIA DE SUPRIMENTOS NO BRASIL. / HÉCTOR FABIO BONILLA LONDOÑO.  
-- 2018.

139 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Douglas José Alem Junior

Banca examinadora: Deisemara Ferreira, Douglas José Alem Junior, Flávio Molina da Silva, João Eduardo Azevedo Ramos da Silva

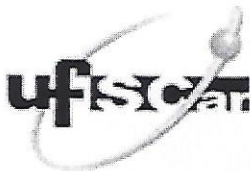
Bibliografia

1. Desenho da Rede Humanitária. 2. Logística Humanitária. 3. Posicionamento de itens emergenciais. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

---

## Folha de Aprovação

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Héctor Fabio Bonilla Londoño, realizada em 27/08/2018:



---

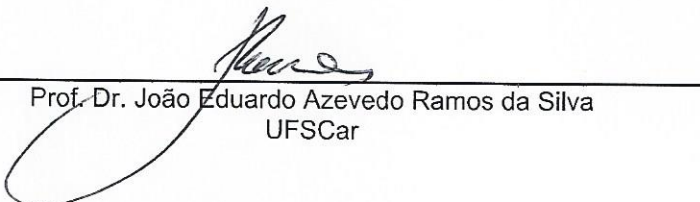
Profa. Dra. Deisemara Ferreira  
UFSCar

---

Prof. Dr. Douglas José Alem Junior  
UFSCar

---

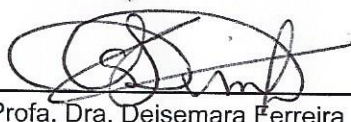
Prof. Dr. Flávio Molina da Silva  
UFTM



---

Prof. Dr. João Eduardo Azevedo Ramos da Silva  
UFSCar

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Douglas José Alem Junior, Flávio Molina da Silva e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ao) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.



---

Profa. Dra. Deisemara Ferreira



*Este trabalho é dedicado à memória de minha avó **Maria Emma Londoño de Bonilla** que foi exemplo de superação e honestidade. Suas belas lembranças ficarão sempre em mim; onde quer que a senhora esteja, só me resta gratidão e respeito.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, criador deste Universo, por cuidar de mim enquanto estive longe de casa, por me dar coragem para superar dificuldades e também por constantemente colocar em meu caminho aqui no Brasil as pessoas certas, que foram uma bênção neste processo.

Aos meus pais, **Héctor e Yolanda**, por todo seu apoio e amor incondicional fora da minha terra. A minha **irmã**, por estar pendente de mim e sempre me desejar o melhor.

Ao meu orientador, Prof. **Douglas Alem**, pelo grande apoio, acompanhamento e confiança, mesmo em momentos complicados e difíceis durante os estudos. Obrigado por me ensinar nesses 2 anos a ter coragem para trabalhar, amor pela pesquisa operacional e disciplina para conseguir os melhores resultados. Você é um pesquisador proficiente, destacado e brilhante. Obrigado por me dedicar tempo aqui no Brasil e nas inúmeras videochamadas pelo *Skype* em horários diversos.

À minha coorientadora, Profa. **Deisemara Ferreira**, por suas contribuições e orientações nos momentos decisórios para finalizar este trabalho de mestrado; especialmente agradeço muito por brindar-me com seu apoio conselhos pessoais e acadêmicos.

À Profa. **Susana Relvas**, por suas sugestões e contribuições técnicas feitas na qualificação e no documento da dissertação.

Aos Professores membros da banca examinadora desta dissertação, pela leitura e as recomendações sugeridas.

Aos professores **José Geraldo** e sua esposa **Rosane** pela amizade, os conselhos e o apoio.

Aos professores **Virgínia** e **João** pela sua colaboração nos processos administrativos durante o mestrado.

Ao pessoal administrativo do PPGEF-So, especialmente a **Erica** e **Felipe** por suas colaborações.

Às minhas amigas brasileiras, **Paula, Adriana, Denize e Sonete**, por sempre me brindarem com seu amor e paz e às muitas risadas que a gente deu em suas casas; todos os ótimos momentos que a gente passou foram o melhor legado que eu me levo do Brasil.

Ao meu *roommate* brasileiro, **Cristian**, valeu por me acolher em seu apartamento; obrigado pela sua confiança e por sempre me brindar com seu apoio nos momentos em que mais precisei. Agradeço e valorizo muito sua amizade. Saudade da comida, dos vinhos e das cervejas.

Aos meus colegas colombianos do mestrado **Alfredo, Aura, Andrés, Jorge, Victor, Cindy, Cristhian e Juan Sebastián** por fazer de cada jornada de estudo a melhor de vocês; aprendi muito. Obrigado, "*Muchachos*".

Às agências de fomento, CAPES, OEA-PAEC pelo apoio financeiro ao meu mestrado no Brasil.

## RESUMO

MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA A REDE HUMANITÁRIA DE SUPRIMENTOS NO BRASIL. Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Sorocaba, 2018.

Nesta dissertação de mestrado aborda-se o problema de desenho da rede humanitária de suprimentos no Brasil. Para isso propôs-se um modelo matemático de PLIM-determinístico. A formulação matemática visa maximizar a cobertura da demanda das vítimas nos municípios afetados ao longo do território brasileiro. Essa proposta de modelagem incorpora novidades na formulação matemática do problema, tais como: os dois níveis de instalações (depósitos e centros de auxílio), o dimensionamento da capacidade e o Índice de Vulnerabilidade Social (SoVI), que prioriza o atendimento de áreas mais vulneráveis. Para representar de uma forma realista e prática o contexto do problema, foi realizada uma coleta de dados baseada em 11 tipos de desastres naturais com maior frequência de ocorrência no período de 2007-2016 no território brasileiro, empregando novas informações coletadas a partir do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2iD. Os dados coletados são empregados especialmente para estimar a demanda de produtos emergenciais necessária a cada pessoa alocada nos municípios afetados.

Foram implementados e executados experimentos computacionais para avaliar o modelo matemático até a obtenção do certificado de otimalidade, a menos que se indique o contrário. A proposta de modelagem permite avaliar: (i) a configuração da rede humanitária de suprimentos em relação aos depósitos e centros de auxílio, assim como suas características em termos de capacidade e operação ao longo prazo; (ii) a dinâmica de transporte dos produtos emergenciais ao longo do país para satisfazer a demanda das vítimas; (iii) a análise de sensibilidade do orçamento no atendimento das vítimas e o papel do SoVI no nível de serviço emergencial e (iv) as vantagens de combinar as atividades de pré-posicionamento e aquisição de produtos emergenciais para o atendimento das vítimas, em contrapartida a estratégias ditas “puras”.

**Palavras-chaves:** Desenho de Rede humanitária, Preposicionamento de itens emergenciais, Planejamento da Capacidade, Logística Humanitária.

# ABSTRACT

OPTIMIZATION MODEL FOR A HUMANITARIAN SUPPLY NETWORK IN BRAZIL.  
Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Sorocaba, 2018.

This dissertation addresses the problem of designing a humanitarian supply network. With this purpose, a mixed integer linear programming model is proposed, which aims at maximizing the covering of demand in the affected municipalities. The proposed model considers facilities having two purposes (which operate as deposits and aid centers), and is used to decide on capacity planning upon the basis of the Social Vulnerability Index (SoVI) that prioritizes the care of more vulnerable areas. For the sake of testing the model, a real case based on the Brazilian disaster response planning was considered. Thus, data was gathered from the Integrated System Disaster Information (S2iD); in particular, the 11 types of natural disasters with the highest prevalence during the period 2007-2016 were used for the study. The goal was to estimate the demand for relief aid required to cover population needs in the affected municipalities. Computational experiments were implemented and executed to evaluate the mathematical model. The results suggest that the model proposed may be used as a decision support tool that allows for evaluating: (i) the configuration of the humanitarian supply network, regarding to the deposits and aid centers, as well as their characteristics in terms of capacity and long-term operation, (ii) the dynamics of transportation of relief aid throughout the country to meet the requirements (iii) sensitivity analysis of the budget to the care of victims and the role of SoVI in the level of emergency service; and (iv) the advantages and disadvantages of combining pre-positioning and acquisition of relief aid to take the care of victims.

**Key-words:** Supply chain, Network design, Pre-positioning, Capacity Planning, Humanitarian Logistics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia de revisão da literatura . . . . .	22
Figura 2 – Número de vítimas afetadas pelas regiões do Brasil, período 2007- 2016	31
Figura 3 – Percentagem de ocorrências de desastres naturais no período 2007- 2016 por tipo desastre. . . . .	32
Figura 4 – Número de vítimas por tipo de desastres no período 2007-2016 . . . .	33
Figura 5 – Distribuição dos desastres naturais por região no Brasil 2007 a 2016 .	34
Figura 6 – Fonte: Base dados Sistema Integrado de Informações sobre Desastres do Brasil S2iD Acesso Junho 2017 . . . . .	34
Figura 7 – Organograma do SINPDEC . . . . .	37
Figura 8 – Processo para preposicionamento de itens emergenciais. . . . .	39
Figura 9 – Espacialidade do SoVI no Brasil. . . . .	41
Figura 10 – Proposta de topologia da rede humanitária integrada. . . . .	44
Figura 11 – Estrutura das decisões na modelagem matemática . . . . .	47
Figura 12 – Balanceamento de fluxo das <i>commodities</i> preposicionadas no depósito <i>n</i> .	56
Figura 13 – Balanço de fluxo da demanda para todas as <i>commodities</i> nos centros de auxílio. . . . .	58
Figura 14 – Balanço do dinheiro empregado nas operações humanitária a longo prazo	61
Figura 15 – Espacialidade dos centros de auxílio no território brasileiro . . . . .	83
Figura 16 – Dinâmica dos fluxos relacionados aos depósitos. . . . .	86
Figura 17 – Mapeamento da rede para o depósito de Belo Horizonte. . . . .	89
Figura 18 – (Continuação)-Mapeamento da rede para o depósito de Belo Horizonte.	90
Figura 19 – Função de Distribuição Acumulada empírica dos microperíodos onde os centros de auxílio permanecem abertos/operando. . . . .	91
Figura 20 – Distribuição do nível de serviço para cidades com Muito-alta vulnerabi- lidade e alta vulnerabilidade social. . . . .	99
Figura 21 – Distribuição espacial das facilidades em cada estratégia para o atendi- mento da demanda. . . . .	103

Figura 22 – Comparação dos custos da rede empregando isoladamente as estratégias  
de preposicionamento e aquisição. . . . . 105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo artigos em desenho da cadeia de suprimentos humanitária . . .	29
Tabela 2 – Continuação-Resumo artigos em desenho da cadeia de suprimentos humanitária . . . . .	30
Tabela 3 – Características da instância. . . . .	65
Tabela 4 – Informações sobre as 17 capitais candidatas a depósitos e os 50 municípios candidatos a centros de auxílio e áreas afetadas. . . . .	67
Tabela 5 – Custos de instalação, expansão e redução dos 17 candidatos a depósitos.	69
Tabela 6 – Custos de Transporte rodoviário de carga. . . . .	71
Tabela 7 – Peso estimado dos produtos emergenciais. . . . .	71
Tabela 8 – Custos unitários associados ao reposicionamento, estoque e compra nos depósitos e centros de auxílio. . . . .	72
Tabela 9 – Fator de conversão de unidades de produto a metros quadrados. . . . .	73
Tabela 10 – Índice de Vulnerabilidade Social para 50 municípios. . . . .	75
Tabela 11 – Abrangência de atendimento dos produtos. . . . .	77
Tabela 12 – Valores de capacidade inicial e máxima de expansão do depósito $n$ para instância 1 ano e 12 meses. . . . .	78
Tabela 13 – Quantidade máxima de reposicionamento de cada <i>kit</i> emergencial. . .	79
Tabela 14 – Capacidades máximas dos centros de auxílio. Instância 1 ano e 12 meses.	79
Tabela 15 – Dinâmica da abertura, planejamento e utilização da capacidade nos depósitos. . . . .	82
Tabela 16 – Dinâmica de abertura e operação dos centros de auxílio ao longo dos microperíodos. . . . .	84
Tabela 17 – Quantidade de produto emergenciais reposicionados nos depósitos e/ou comprados nos centros de auxílio. . . . .	85
Tabela 18 – Quantidade do fluxo distribuído dos depósitos aos centros de auxílio. .	86
Tabela 19 – Sumário das principais decisões logísticas reduzindo-se o orçamento financeiro. . . . .	95



Tabela 20 – Custos parciais da rede humanitária reduzindo-se o orçamento financeiro (em Reais Brasileiros R\$). . . . .	95
Tabela 21 – Média do nível de serviço por categoria de vulnerabilidade social. . .	98
Tabela 22 – Distribuição das unidades preposicionadas nos depósitos instalados por produto emergencial e utilização da capacidade. . . . .	102
Tabela 23 – Distribuição das unidades compradas nos centros de auxílio instalados e utilização da capacidade. . . . .	102
Tabela 24 – Média de pessoas desabrigadas e desalojadas para macro período de 1 ano e 12 microperíodos. . . . .	115
Tabela 25 – Demanda de água mineral necessária para as vítimas no período 2007-2016. Instância de um ano e 12 meses. . . . .	116
Tabela 26 – Demanda de <i>kit</i> de alimentos necessários para as vítimas no período 2007-2016. Instância de um ano e 12 meses. . . . .	117
Tabela 27 – Demanda de <i>kits</i> de colchão de solteiro necessário para as vítimas no período 2007-2016. Instância de um ano e 12 meses. . . . .	118
Tabela 28 – Demanda de <i>kits</i> de dormitório necessários para as vítimas no período 2007-2016. Instância de um ano e 12 meses. . . . .	119
Tabela 29 – Demanda de <i>kits</i> de higiene pessoal e limpeza necessários para as vítimas no período 2007-2016. Instância de um ano e 12 meses. . . . .	120
Tabela 30 – Distância entre os depósitos. . . . .	122
Tabela 31 – Distância entre depósitos e os centros de auxílio. . . . .	123
Tabela 32 – Continuação-Distância entre depósitos e centros de auxílio. . . . .	124
Tabela 33 – Distância entre os centros de auxílio e as áreas afetadas. . . . .	125
Tabela 34 – Continuação- Distância entre os centros de auxílio e as áreas afetadas. . . . .	126
Tabela 35 – Custo de transporte entre os 17 candidatos a depósitos. . . . .	128
Tabela 36 – Custos de transporte entre os depósitos ( <i>n</i> ) e os centros de auxílio ( <i>m</i> ). . . . .	129
Tabela 37 – Continuação-Custos de transporte entre os depósitos ( <i>n</i> ) e os centros de auxílio ( <i>m</i> ). . . . .	130
Tabela 38 – Custos de transporte entre os 50 candidatos a centros de auxílio ( <i>m</i> ). . . . .	131
Tabela 39 – Continuação-Custos de transporte entre os 50 candidatos a centros de auxílio ( <i>m</i> ). . . . .	132

Tabela 40 – Distribuição dos depósitos instalados para cada variação do orçamento.	133
Tabela 41 – Distribuição dos centros de auxílio abertos/operando para cada variação do orçamento. . . . .	134
Tabela 42 – Nível de serviço das áreas afetadas variando o orçamento. . . . .	135
Tabela 43 – Unidades de produtos emergenciais preposicionado e comprados para cada variação do orçamento. . . . .	136
Tabela 44 – Unidades de cada produto emergencial compradas em cada centro de auxílio. . . . .	138

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Risco e Desastres.
CEPED	Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres.
CUB	Custo Unitário Básico de Construção.
DAG	Departamento de Articulação e gestão.
DMD	Departamento de Mitigação de Desastres.
DRR	Departamento de Reabilitação e Recuperação.
EM-DAT	<i>Emergency Events Database.</i>
<i>Commodity</i>	Item ou produto emergencial.
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency.</i>
OH	Organizações Humanitárias.
PLIM	Programação Linear Inteira Mista.
S2ID	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres do Brasil.
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil.
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil.
SoVI	Índice de Vulnerabilidade Social.
UNISDR	<i>United Nations Office for Disaster Risk Reduction.</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$(R\$)$	Reais.
$(m^2)$	Metros quadrados.
$(un)$	Unidades de produto emergencial.
$\left(\frac{R\$}{m^2}\right)$	Reais por metro quadrado.
$\left(\frac{m^2}{un}\right)$	Metros quadrados por unidade de produto. emergencial.
$(km)$	Quilômetro.
$\left(\frac{R\$}{ton}\right)$	Reais por tonelada de produto.
$\left(\frac{R\$}{kg}\right)$	Reais por quilograma de produto.
$\left(\frac{R\$}{kg}\right)$	Quilograma por unidade de produto.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo e justificativa . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Metodologia . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>1.3</b>	<b>Organização da dissertação . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Desenho da rede humanitária . . . . .</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>CONTEXTO DO PROBLEMA DE PESQUISA . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>Contextualização . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>3.2</b>	<b>Cadeia humanitária de suprimentos no Brasil . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Gestão dos desastres no Brasil . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM MATEMÁTICA</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Descrição do Problema . . . . .</b>	<b>42</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Decisões estratégicas no longo prazo . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Decisões táticas/operacionais no médio/curto prazo . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Pressupostos do Modelo Matemático . . . . .</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Estratégias para o atendimento da demanda . . . . .</b>	<b>48</b>
<b>4.3</b>	<b>Modelo Matemático . . . . .</b>	<b>49</b>
<b>4.4</b>	<b>Modelo de Maximização . . . . .</b>	<b>51</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Restrições associadas aos depósitos . . . . .</b>	<b>52</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Restrições associadas aos centros de auxílio . . . . .</b>	<b>56</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Restrições orçamentais associada aos depósitos e centros de auxílio . . . . .</b>	<b>60</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Definição dos custos associados aos depósitos . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>4.4.5</b>	<b>Definições dos custos associados aos centros de auxílio . . . . .</b>	<b>62</b>
<b>4.5</b>	<b>Modelo Auxiliar de Minimização dos custos . . . . .</b>	<b>64</b>

<b>5</b>	<b>COLETA DE DADOS E DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO . . . . .</b>	<b>65</b>
<b>5.1</b>	<b>Parâmetros do modelo de otimização . . . . .</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS . . . . .</b>	<b>80</b>
<b>6.1</b>	<b>Resultados do modelo base e análises . . . . .</b>	<b>81</b>
<b>6.2</b>	<b>Análise de sensibilidade do orçamento . . . . .</b>	<b>92</b>
<b>6.3</b>	<b>Impacto das estratégias puras de preposicionamento e aquisição de produtos emergenciais . . . . .</b>	<b>100</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>106</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>	<b>109</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE A – NÚMERO DE PESSOAS AFETADAS E DEMANDA DE KITS EMERGENCIAIS NO PERÍODO DE 2007-2016 . . . . .</b>	<b>114</b>
	<b>APÊNDICE B – DISTÂNCIAS . . . . .</b>	<b>121</b>
	<b>APÊNDICE C – CUSTO DE TRANSPORTE ENTRE ARCOS DA REDE . . . . .</b>	<b>127</b>
	<b>APÊNDICE D – TABELAS DE VARIAÇÕES DO ORÇAMENTO</b>	<b>133</b>
	<b>APÊNDICE E – ESTRATÉGIA DE AQUISIÇÃO PURA . . . . .</b>	<b>138</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Os últimos desastres naturais ocorridos ao redor do mundo têm evidenciado as dificuldades das diversas organizações humanitárias (OH) em gerir eficientemente suas operações. Segundo (CHARLES *et al.*, 2016), tais dificuldades refletem a complexidade dos problemas envolvidos nessas situações e simultaneamente a carência de métodos científicos aplicados ao planejamento das operações nas fases de mitigação, preparação, resposta e recuperação. Neste sentido é importante salientar que os desastres têm um ciclo de vida, organizado nas fases anteriores.

A etapa inicial é a mitigação, em que são aplicadas medidas para que os impactos ocasionados pelos desastres sejam reduzidos. Na preparação ocorre a proposição e o desenvolvimento de planos de respostas anteriores ao desastre, na tentativa de preparar a comunidade para uma melhor resposta quando a catástrofe ocorrer novamente.

Na fase de resposta inicia-se a efetivação dos planos de ajuda emergencial como evacuação das vítimas, salvamento e resgate, distribuição de abrigos, alimentos etc. A fase de recuperação tem o objetivo de ajudar no retorno à normalidade da área afetada, seja na reconstrução da infraestrutura, no auxílio financeiro às vítimas ou na restauração dos serviços básicos.

Há muitas atividades relacionadas ao planejamento logístico, principalmente nas fases de preparação e resposta, tais como a construção e utilização de centros de operações emergenciais (localização), manutenção de suprimentos de emergência em depósitos estratégicos (pré-posicionamento), fornecimento de produtos emergenciais (transporte, distribuição e roteamento), entre outros. Todas essas atividades estão incluídas no campo de estudo denominado Logística Humanitária, que pode ser definido como o processo de planejar, implementar e controlar o transporte e estoque de mercadorias do ponto de origem de uma cadeia de abastecimento até potenciais vítimas de desastres em centros de auxílio, por exemplo, de modo a aliviar o sofrimento de pessoas vulneráveis, (THOMAS, 2004).

Contudo, dentre as diversas decisões que precisam ser tomadas de forma rápida em situações de desastre, tem-se a localização de centros de auxílio e a distribuição de suprimentos essenciais para a sobrevivência da comunidade afetada. Embora muitos trabalhos da literatura tenham desenvolvido modelos matemáticos para auxiliar em algumas dessas decisões, poucos autores se preocuparam em integrá-las ao preposicionamento de produtos emergenciais, na tentativa de gerar soluções mais eficientes e em desenhar uma rede humanitária eficiente.

Dessa forma, o presente trabalho propõe maximizar o atendimento de ajuda humanitária baseado no *Índice de Vulnerabilidade Social*, (SoVI), recentemente analisado para o território brasileiro em (HUMMELL *et al.*, 2016). O SoVI é uma métrica social comparativa que permite examinar a vulnerabilidade social entre unidades geográficas (municípios, áreas ou regiões), ilustrando graficamente a variação geográfica da vulnerabilidade social. Os perfis socioeconômicos são gerados a partir da informação dos censos e submetidos a um procedimento estatístico para reduzir o número de variáveis a um conjunto menor de factores que descrevem a vulnerabilidade, (CUTTER *et al.*, 2003).

Desta forma, o SoVI consegue apreender a natureza multidimensional da vulnerabilidade social, Por exemplo, a raça ou a etnia por si so não indicam necessariamente populações vulneráveis mas, quando combinadas com a idade e o sexo, podem torná-las mais sensíveis aos riscos (por exemplo, as mulheres idosas afro-americanas). Em grande medida, o SoVI é mais um algoritmo para desenvolver perfis de vulnerabilidade social do que uma ferramenta propriamente dita. Essa metodologia foi inicialmente proposta por (CUTTER *et al.*, 2003) para medir a vulnerabilidade das cidades dos Estados Unidos nos últimos anos em aplicações específicas.

Para a maioria dos autores, o SoVI pode ajudar a identificar as comunidades mais vulneráveis socialmente (áreas ou regiões), o que por sua vez pode melhorar as políticas de alocação de recursos durante o ciclo da vida do desastre, por exemplo, proporcionando uma maior ajuda de socorro às pessoas afetadas que mais precisam durante o curso de um desastre (FLANAGAN *et al.*, 2011).



Nessa linha de pensamento, esta pesquisa discute o desenho de uma cadeia humanitária de suprimento de dois estágios para coordenar as atividades de preparação e resposta considerando decisões de longo prazo na gestão de desastres no Brasil. O propósito é estudar um sistema descentralizado em que se repassam os custos logísticos ao longo das camadas da rede humanitária. Esta configuração tem sido adotada pela maioria das organizações humanitárias para gerenciar suas operações, segundo, (GATIGNON *et al.*, 2010).

A estrutura da rede descentralizada é composta pelo preposicionamento do estoque em vários depósitos, aquisição e distribuição de produtos de alívio humanitário, localização de instalações permanentes (depósitos), localização de centros de auxílio temporários, alocação de capacidade e planejamento do orçamento financeiro das operações humanitárias de longo prazo.

Apesar da enorme literatura disponível, atualmente, para ajudar na rápida tomada de decisões na gestão de desastres, a maior parte dos estudos nesta área mostra um enfoque em desastres específicos e na preparação e resposta de curto prazo. Por esta razão, as implicações de uma determinada estrutura de rede a longo prazo normalmente não são avaliadas. A fim de se obter uma configuração apropriada de rede humanitária de suprimentos, o trabalho propõe uma modelagem determinística que considera a priorização do atendimento da demanda com base no Índice de Vulnerabilidade dos municípios brasileiros e conseqüentemente permita medir o nível de serviço das áreas afetadas. Além disso, a abordagem matemática integra restrições orçamentárias para o planejamento da gestão de desastres a longo prazo.

Além disso, o modelo matemático trata a coordenação de decisões estratégicas sobre a localização e capacidade dos depósitos que manterão os produtos emergenciais preposicionados com decisões táticas relacionadas à localização de abrigos temporários. Essas duas decisões principais estão ligadas através do fluxo de *commodities* de socorro ao longo do horizonte de tempo, que inclui os fluxos diretos dos depósitos e os fluxos reversos dos centros de auxílio. A principal motivação para integrar essas decisões é proporcionar uma distribuição mais eficiente do que a abordagem de última milha, abordada nos trabalhos

de (VANAIAKUMARI *et al.*, 2016) e (VANAIAKUMARI *et al.*, 2016), pois a ideia é ter uma rede independente das doações e com o mínimo de desperdício de alimentos.

## 1.1 Objetivo e justificativa

O objetivo desta dissertação de mestrado é propor um modelo matemático de Programação Linear Inteira Mista (PLIM)-determinístico para apoiar o processo de planejamento das operações humanitárias nos níveis estratégico e tático e estudar a configuração da rede humanitária de suprimentos do Brasil. Assim mesmo, o intuito da modelagem é cobrir prioritariamente o atendimento das vítimas nas áreas mais vulneráveis aos desastres socioambientais empregando a métrica SoVI, desenvolvida recentemente no trabalho (HUMMELL *et al.*, 2016). Para isto, foram coletados dados e estimada a demanda para ajuda emergencial com base nos dados históricos do S2ID no período de 2007 - 2016.

A formulação integra as decisões no horizonte de tempo, que está composto por macroperíodos (anos) e micro períodos (meses, trimestres), na tentativa de coordenar as operações humanitárias. Assim, as decisões de nível estratégico são caracterizadas por: localização de depósito (instalações permanentes), políticas de estoque e preposicionamento de produtos emergenciais e planejamento da capacidade e do orçamento financeiro para as operações humanitárias. Tais decisões se alocam nos macroperíodos de tempo. Igualmente o modelo considera decisões no nível tático: localização de centros de auxílio (instalações temporárias), políticas de estoque, aquisição de produtos emergenciais, distribuição de fluxos diretos, de retorno e transferência e alocação da demanda - essas decisões abrangem o microperíodo de tempo.

Uma justificativa do presente trabalho é abordar o problema da configuração da rede humanitária de uma perspectiva de longo prazo e analisar o impacto das decisões anteriormente citadas, avaliando o nível de serviço quando é incorporado o SoVI. Além disso, a abordagem determinística consegue ter uma representação mais realista do problema, uma vez que se conhecem os dados históricos e todas as realizações do número de vítimas, por exemplo, para ter uma estimativa da demanda dos produtos emergenciais. No entanto a

abordagem estocástica ou sob incerteza é adequada para situações em que existam poucos cenários de incerteza. Além disso, a geração e estimação dos dados fornecidos na modelagem é uma fase complexa, pois nem sempre se dispõe dessas informações atualizadas, portanto pensar na incorporação de incerteza poderia trazer limitações para a estimação das probabilidades dos cenários na prática. Essa e outras justificativas que discutem as vantagens e desvantagens entre a formulação determinística e a estocástica para projetar uma rede humanitária são discutidas por CHARLES *et al.* (2016).

Diante disso, a motivação deste trabalho vem do fato de que o Brasil está atualmente entre os dez países mais afetados por desastres relacionados ao clima nos últimos 20 anos (UNISDR, 2015). Além disso, as experiências brasileiras em lidar com múltiplos eventos de desastres nos últimos anos sugerem que há uma falta de planejamento e gerenciamento das operações humanitárias no Brasil.

Embora muitos desastres brasileiros sejam eventos recorrentes, repetindo-se ano após ano em várias regiões, o atual Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINP-DEC), que é responsável pela gestão de desastres do país, ainda luta para minimizar o impacto de todos eles no território brasileiro. De fato, de 1997 a 2017 o número total de pessoas afetadas ultrapassou os 48 milhões e os danos econômicos correspondentes foram estimados em 12 bilhões de dólares como resultado de eventos extremos como secas, vazamentos, deslizamentos de terra e epidemias (EM-DAT2017, 2017). Além das conhecidas vulnerabilidades socioeconômicas do Brasil, sua dimensão continental composta por uma geologia, geomorfologia e clima distintos, associada a recursos humanos e materiais insuficientes, certamente coloca desafios de logística únicos para uma gestão eficaz de desastres no país.

Finalmente, outra motivação importante em estudar um modelo estratégico integrado de logística humanitária advém do fato de que o governo brasileiro tomou a iniciativa junto aos Correios para o repositonamento de estoque estratégicos para assistência a operações humanitárias em algumas regiões do país. Esse acordo ocorreu em julho de 2013 na expectativa de fornecer uma resposta mais rápida para qualquer tipo de desastre no território brasileiro.

## 1.2 Metodologia

Este trabalho propõe utilizar a metodologia de Pesquisa *Axiomática Quantitativa Normativa*, comum na área de Pesquisa Operacional, (BERTRAND; FRANSOO, 2002). A pesquisa é denominada axiomática quantitativa porque é primariamente orientada a modelos de problemas idealizados e é normativa porque é baseada em modelos que prescrevem uma decisão para o problema neste caso, modelos de otimização relacionados ao desenho da cadeia humanitária de suprimentos e as decisões associadas.

Nesta pesquisa, algumas etapas características nos estudos de Pesquisa Operacional serão abordadas: (BERTRAND; FRANSOO, 2002); (MORABITO; PUREZA, 2012). Nesta linha, na primeira etapa da metodologia será feita uma revisão da literatura sobre os modelos associados à configuração e topologia da rede humanitária e ao conjunto de decisões em nível estratégico, tático ou operacional. Em seguida, será definido o problema de interesse e serão formulados os correspondentes modelos matemáticos. Após a formulação dos modelos, testes computacionais e análise de sensibilidade serão realizados para validar os mesmos. Finalmente, os resultados dos estudos computacionais serão analisados e discutidos, e posteriormente serão levantadas as respectivas conclusões do trabalho e propostas de pesquisas futuras.

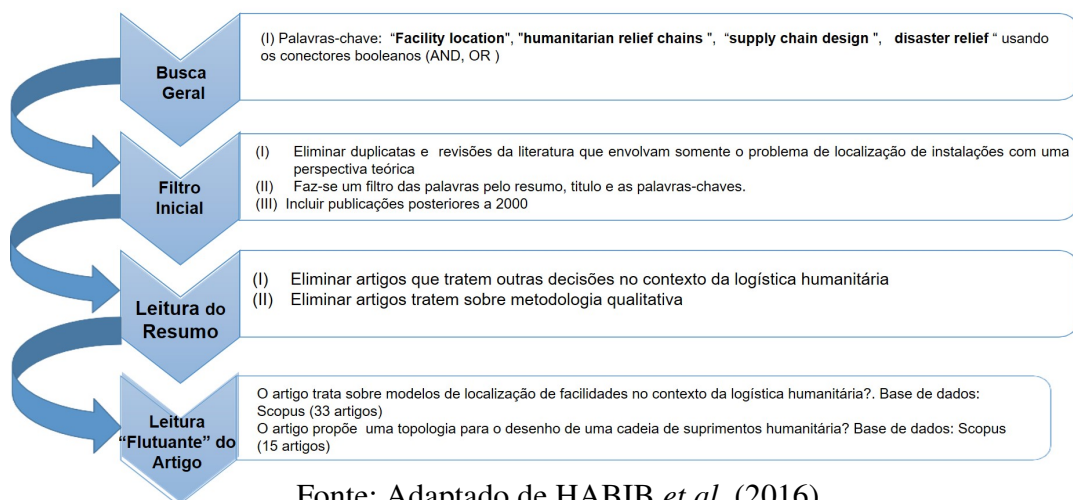
## 1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação está estruturada em capítulos. O presente capítulo apresenta a introdução, os objetivos, a justificativa e as principais motivações do estudo. A seguir apresenta-se o capítulo 2, que expõe uma revisão da literatura sobre os modelos de localização e integração de decisões para projetar uma rede humanitária de suprimentos. O capítulo 3 descreve o problema de pesquisa; posteriormente o capítulo 4 apresenta a proposta de modelagem para a rede humanitária de suprimentos no Brasil. O capítulo 5 descreve a coleta de dados reais e parâmetros empregados no modelo matemático. Seguidamente, o capítulo 6 discute os experimentos computacionais e os principais achados dos resultados obtidos pelo modelo de otimização proposto. Finalmente, o capítulo 7 encerra com considerações finais e discute sobre possíveis ideias de pesquisa a futuro.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta revisão bibliográfica classifica os trabalhos de acordo com uma revisão recente da literatura sobre técnicas de modelagem e métodos de solução no contexto da logística humanitária que são apresentadas no artigo de (HABIB *et al.*, 2016). Desta maneira, se propõe classificar os artigos científicos lidos de acordo com o tipo de desastre, a tipologia e configuração da rede humanitária, fases e tipo de desastre, principais decisões integradas na modelagem, períodos de planejamento empregados e métodos de solução, como ilustra a Tabela 1, cujo objetivo é discutir diferenças e similaridades do trabalho em relação à modelagem proposta. A segunda seção está voltada a mostrar os trabalhos relacionados ao desenho de cadeias humanitárias, com objetivo de discutir as diferenças e semelhanças que existem em relação à presente pesquisa. Neste sentido, nesta revisão adaptou-se uma metodologia de revisão da literatura de (HABIB *et al.*, 2016), seguindo as etapas que são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Metodologia de revisão da literatura



Fonte: Adaptado de HABIB *et al.* (2016)

Considerando que o artigo acima aborda diversas aplicações de otimização na

logística humanitária, foi feita uma análise geral de cada artigo e, em seguida, se direciona o foco para os problemas de localização. A pesquisa realizada para o problema de localização de instalação para um desastre pode ser classificada em duas categorias. A classificação está relacionada com a linha de tempo do desastre se o modelo for desenvolvido para um cenário pré- desastre ou pós-desastre. No cenário pré-desastre, uma abordagem estratégica é adotada, na qual os pesquisadores tratam o planejamento para os melhores locais das instalações. Assim, alguns autores integram na modelagem decisões de localização de instalações, distribuição de bens, inventário e aquisição de *commodities* para atender à população. Nesta linha encontra-se o estudo desenvolvido por (BALCIK; BEAMON, 2008), no qual os autores propõem um modelo matemático para determinar o número e a localização dos centros de distribuição em uma rede e o número de suprimentos para suprir cada centro de distribuição e pessoas afetadas por desastres. O modelo é uma variante do problema de localização pela cobertura máxima. As decisões que são integradas na modelagem são decisões de inventário, considerando vários tipos de itens. Assim, o modelo também capta restrições orçamentárias e de capacidade. Os autores fizeram experimentos computacionais para ilustrar como o modelo funciona em um problema proposto com dados reais. Os resultados mostram os efeitos do financiamento de socorro para as fases pré e pós-desastre sobre o desempenho e o tempo de resposta.

Por outro lado, o trabalho proposto por (RAWLS; TURNQUIST, 2010) apresenta um modelo de dois estágios para localizar instalações de planejamento de resposta de emergência, determinando a localização e quantidades de vários suprimentos de emergência a serem repositionados. O que foi abordado considerando vários cenários que podem ocorrer em um desastre, atribuindo a cada um deles variações na demanda e penalidades para a demanda não atendida. Devido à complexidade do problema, a heurística lagrangiana em forma de *L-shaped* foi utilizada na solução. Em seguida, no outro trabalho, (DURAN *et al.*, 2011) expõe uma abordagem determinística para localização e/ou aquisição; nesse trabalho eles usaram a Programação Inteira Mista para determinar a melhor configuração da rede para emergências.

Diferente dos trabalhos anteriormente apresentados, na pesquisa feita por BOZORGI-AMIRI *et al.* (2013) desenvolveram uma abordagem multiobjetivo e utilizaram também

um modelo para localização de instalações, transporte e no valor dos produtos adquiridos. Afirmam que as penalidades podem ser estipuladas através de métodos multicritério, entretanto não detalham a utilização dessa metodologia. Por outro lado, no artigo mais recente, CHARLES *et al.* (2016) propõe direções claras para aumentar a relevância e o impacto da pesquisa sobre organizações humanitárias e justifica as vantagens de empregar na modelagem um enfoque determinístico dos dados, i.e., a estimação da demanda com informações históricas. (CHARLES *et al.*, 2016) diz que um enfoque de modelado determinístico pode contribuir para explicar adequadamente o desenho da rede de uma perspectiva estratégica, uma vez que as estimações e o tratamento das informações são feitas com base em dados reais. No entanto, em enfoques estocásticos sob incerteza existem dificuldades para estimar a probabilidade dos dados e a representação prática e realista é negligenciada, uma vez que justificar as estimações das probabilidades é um assunto polêmico, e que para esse enfoque ser adequado deve-se garantir o tratamento de poucos cenários. Esses e outros assuntos também são justificados por CHARLES *et al.* (2016).

O artigo proposto por CHARLES *et al.* (2016), sugere: (i) a construção de suposições e cenários realistas, (ii) a melhoria da capacidade das redes humanitárias e (iii) a consideração do efeito da incerteza dos dados sobre os resultados. Os melhores locais para a aquisição de recursos humanitários são encontrados por um modelo de programação linear inteira mista, assim esta metodologia é generalizável, mas sua aplicação é específica para cada organização. Por fim, os autores estabelecem uma discussão orientada à eficiência das redes humanitárias de uma perspectiva que considere cenários e dados mais próximos à realidade em que acontecem os desastres naturais. Porém, existem outras pesquisas feitas por RAWLS *et al.* (2011), PAUL e MACDONALD (2016), PRADHANANGA *et al.* (2016) as quais, só integram decisões de localização, distribuição e aquisição.

Outras perspectivas de pesquisas abordam decisões diferentes além da localização, como é o caso do trabalho, (CHANG *et al.*, 2007), que inclui o transporte de vítimas e implementa as abordagens de *P-median*, *P-center* e *Covering Location Problem*(CLM). Assim, o artigo de (AN *et al.*, 2013) trata decisões de evacuação e transporte de vítimas. (JAHRE *et al.*, 2016) desenvolvem um modelo que integra fatores na modelagem tais como dificuldades, segurança, roubo e acessibilidade na determinação dos melhores locais de

armazém para o posicionamento. Esse modelo pode ajudar a quantificar o impacto de uma rede expandida em tempo e custo. Nesse sentido, esta metodologia combina uma análise qualitativa e quantitativa sobre tais fatores em função de aportar novas conclusões para a área de pesquisa em logística de operações humanitárias. Assim, os autores geram percepções empíricas e computacionais sobre a dependência destes fatores na decisão e escolha de instalações humanitárias. Outro aspecto importante a salientar nesta revisão é a classificação das abordagens mais comuns empregadas pelos pesquisadores ;CAMPBELL e JONES (2011), BARZINPOUR e ESMAEILI (2014) e KHAYAL *et al.* (2015) que abordam modelos de localização-distribuição e empregam estratégias de solução exata e aproximada. Esses trabalhos estão relacionados com a abordagem que se propõe no modelo desenvolvido neste trabalho. No entanto, eles diferem em aspectos próprios da modelagem que foram considerados para nossa proposta de modelagem e serão tratados nas próximas seções.

## 2.1 Desenho da rede humanitária

Nesta seção será apresentado um estudo sobre os principais modelos de desenho da cadeia de suprimentos humanitária na literatura, considerando o fato de que o modelo desenvolvido neste trabalho visa não somente tomar decisões de localização, mas propor uma estrutura para a cadeia humanitária de suprimentos no Brasil, ou seja, propor decisões integradas para tratar o problema de forma mais abrangente. Logo, não serão apresentados todos os modelos que objetivam o desenho da cadeia de suprimentos na literatura, mas os que possuem maior relação com o modelo proposto nesta dissertação.

Para representar um cenário de logística humanitária e tratar o problema da forma mais próxima possível das situações dos desastres naturais, o modelo proposto utiliza uma estrutura de tipo *2-echelon*, isto é, duas camadas na estrutura organizacional da cadeia de suprimentos; a primeira camada é mais abrangente e está composta dos depósitos, que devem ser localizados em posições estratégicas para armazenar as *commodities* e fornecer as estruturas abaixo da cadeia humanitária, que são os centros de auxílio - esses centros são instalações temporárias, abertas com a ocorrência dos desastres para atender as áreas



afetadas, como se ilustra nas três primeiras colunas da Tabela 1. Observa-se que poucos modelos na literatura utilizam esta estrutura de diferentes tipos de instalações; por exemplo, (PAUL; GOVIND, 2012; GALINDO; BATTA, 2013; JABBARZADEH *et al.*, 2014; HASANZADEH *et al.*, 2016), emprega modelos *2-echelon* com instalações semelhantes às utilizadas neste modelo, grandes centros de distribuição (estruturas permanentes) para atender os centros de apoio (estruturas temporárias), localizados nas proximidades das áreas afetadas,AFSHAR e HAGHANI (2012), ainda propõem um modelo multicamadas com 7 níveis de instalações; isso foi feito para representar a complexa estrutura logística da *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), organização humanitária localizada nos Estados Unidos. Também em estudos recentes como o proposto por (SAHEBJAMNIA *et al.*, 2016), apresenta-se uma rede multicamada que envolve várias instalações de organizações humanitárias (OH), Terminais centrais (CTs) e Terminais locais (LTs). As OH enviam itens de alívio para as CTs que estão localizadas perto da área afetada; na última camada, os itens de alívio são distribuídos de CTs para os LTs que se encontram localizados em diferentes zonas dentro das áreas afetadas. Nessa mesma linha,HASANZADEH *et al.* (2016), descrevem uma estrutura de rede humanitária projetada com base no problema de localização do HUB, com instalações compostas por vários escalões. Os demais modelos estudados apresentam uma estrutura logística de única camada ou escalão, ou seja, utilizando apenas centros de distribuição para atendimento direto a áreas afetadas por desastres naturais.

Em relação à função objetivo dos problemas, diversos artigos incluem minimização de custos de operação das instalações, de distribuição, inventário, preposicionamento e aquisição. Entretanto, a maioria dos autores associa esse objetivo a outros, por exemplo, (HASANZADEH *et al.*, 2016) focam, além da minimização de custo, na maximização da área de cobertura dos depósitos instalados, objetivando o atendimento de todas as possíveis áreas de ocorrência de desastres naturais. (TOFIGHI *et al.*, 2016), (TZENG, 2007), (WANG *et al.*, 2014) utilizam também como objetivo a minimização do tempo máximo total de viagem, buscando reduzir o tempo de resposta aos desastres naturais e fornecer um atendimento mais rápido aos afetados.

Outra característica importante do modelo é o uso de um horizonte de planejamento de médio e longo-prazo, ou seja, com decisões táticas e estratégicas; enquanto poucos

artigos na literatura lidam com o desenho da cadeia de suprimentos com essa característica temporal, (AFSHAR; HAGHANI, 2012; CHARLES *et al.*, 2016), usando modelos multiperíodo, mas com características de curto prazo, com decisões sobre operações em caso de desastres naturais e JAHRE *et al.* (2016), desenvolveram primeiro um *framework* e um modelo de dados que integram o alívio de longo prazo e de emergência a cadeias de abastecimento, abrangendo tanto o tempo de resposta como o custo. Por outro lado, o artigo de (JAHRE *et al.*, 2016) visa estabelecer uma cadeia de abastecimento humanitário de longo prazo, considerando possíveis desastres naturais em horizontes de planejamento de 5 ou 10 anos, com base na história da ocorrência desses desastres e sua probabilidade de recorrência.

Alguns autores também utilizam a minimização da demanda total não atendida, como TOFIGHI *et al.* (2016), AFSHAR e HAGHANI (2012), (TZENG, 2007), estabelecendo uma rede logística humanitária com maior atendimento possível das necessidades dos afetados, associando isso aos objetivos de custo. O modelo deste artigo, por outro lado, busca através das restrições o atendimento de 100% da demanda. Outra abordagem de função objetivo utilizada em alguns modelos é o multiobjetivo, integrando minimização de custos, tempo de resposta, quantidades de centros de distribuição, riscos associados a roubos nas rotas entre nós da rede, maximização do atendimento da demanda. Autores que utilizam esse formato de função são, por exemplo, TOFIGHI *et al.* (2016), (TZENG, 2007), (VITORIANO; ORTUN, 2009) e (WANG *et al.*, 2014). Isso é feito resolvendo os modelos propostos para cada um dos objetivos individualmente e colocando a solução ótima como um *target* para cada um dos atributos, adicionando então variáveis de folga; já que em um modelo multiobjetivo não é possível obter a solução ótima para mais de um objetivo ao mesmo tempo, a nova função objetivo se torna a minimização dessas variáveis de folga, buscando se afastar o mínimo possível das soluções ótimas obtidas para os objetivos individualmente.

Decisões de Localização-Distribuição são utilizadas em todos os modelos estudados sobre desenho da cadeia de suprimentos, por isso analisamos na seção anterior especificamente os modelos que envolvem decisões de localização. Porém, através do estudo dos

modelos da literatura em desenho da cadeia humanitária, observam-se poucos artigos, entre os estudados, considerando inventário e aquisição de commodities, por exemplo, TOFIGHI *et al.* (2016), AFSHAR e HAGHANI (2012) e TZENG (2007) consideram decisões de níveis de inventário ou aquisição de produtos nos centros de distribuição, por isso o modelo proposto neste trabalho busca integrar decisões de localização-distribuição com decisões de inventário e aquisição.

A Tabela 1 e Tabela 2 resumem os artigos estudados para análise e suas características, função objetivo e principais decisões mostrando as semelhanças e diferenças com o modelo proposto neste artigo. Através da análise feita acima, é possível inferir que este trabalho se diferencia em relação aos trabalhos existentes em logística humanitária e desenho da cadeia de suprimentos nos seguintes aspectos: integra um caráter *multicommodity* e multiperíodo, fornecendo um planejamento tático e estratégico através de uma cadeia logística de 2 níveis (centros de distribuição e centros de auxílio), além de integrar decisões de localização, distribuição, inventário, preposicionamento e aquisição, tudo isso visando a maximização do atendimento das áreas afetadas de acordo com o SoVI de cada município. A integração dessas características e as decisões não são encontradas em outro modelo proposto na literatura. Outra característica importante desta contribuição é propor escalas de tempo, definidas em tipos de períodos de tempo: microperíodos de tempo e macroperíodos, a fim de ter uma visão mais holística da cadeia de suprimento e assegurar uma coordenação eficiente para integrar as decisões de longo prazo, as decisões mais frequentes e de médio prazo, que são tomadas com menos frequências ou replanejadas, como contingências no momento. Outra contribuição desta dissertação é a coleta e estimação dos dados que permite contextualizar o problema de estudo e ajuda a levantar discussões mais práticas em relação às políticas públicas da atual gestão da cadeia humanitária de suprimentos no Brasil.

Tabela 1 – Resumo artigos em desenho da cadeia de suprimentos humanitária

Referências	Fase de Desastres	Tipo de Desastre	Tipo de Facilidade			Decisões principais integradas*							Representação do Problema			
			D	CD	CAT	RD	Prep	Inv	Aq	AC	RF	Outros	Deter	Est	Din	MulC
(CHANG <i>et al.</i> , 2007)	Preparação e Resposta	Início súbito	✓	✓	✓							✓		✓		✓
TZENG (2007)	Recuperação e Resposta	Início súbito	✓	✓	✓	✓		✓				✓	✓		✓	✓
DURAN <i>et al.</i> (2011)	Preparação e Resposta	Início súbito	✓	✓		✓	✓	✓					✓	✓		
PAUL e GOVIND (2012)	Mitigação e Resposta	Início súbito	✓	✓		✓					✓		✓	✓		
AFSHAR e HAGHANI (2012)	Preparação e Resposta	Início súbito / lento	✓	✓	✓	✓				✓		✓	✓		✓	✓
RAWLS <i>et al.</i> (2012)	Preparação e Resposta	Início súbito	✓	✓		✓	✓	✓					✓		✓	✓
GALINDO e BATTA (2013)	Preparação	Início súbito	✓	✓		✓	✓	✓						✓		
JABBARZADEH <i>et al.</i> (2014)	Mitigação e Resposta	Início súbito	✓	✓		✓					✓				✓	✓
Verma e Gaukler (2015)	Preparação e Resposta	Início súbito	✓	✓		✓	✓				✓		✓	✓		
ZOKAEE <i>et al.</i> (2016)	Preparação e Resposta	Início súbito	✓	✓	✓	✓								✓		✓
SAHEBJAMNIA <i>et al.</i> (2016)	Preparação e Resposta	Início súbito	✓	✓		✓	✓						✓		✓	
HASANZADEH <i>et al.</i> (2016)	Preparação e Resposta	Início súbito /lento	✓			✓		✓					✓		✓	
CHARLES <i>et al.</i> (2016)	Preparação e Resposta	Início súbito	✓	✓		✓	✓	✓					✓			✓
TOFIGHI <i>et al.</i> (2016)	Preparação e Resposta	Início súbito	✓	✓		✓	✓	✓								✓
JAHRE <i>et al.</i> (2016)	Preparação e Resposta	Início súbito	✓	✓		✓	✓	✓				✓	✓			✓
Neste Trabalho	<b>Preparação e Resposta</b>	<b>Início súbito/lento</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

D:Depósitos-Instalações para armazenar produtos emergenciais. ; CD: Centro de Distribuição - Instalações para consolidar e armazenar produtos emergenciais.

CAT: Centros de auxílio Temporários

\* Decisões integradas com o problema de localização de facilidades: D: Distribuição ; Prep: Preposicionamento

Inv: Inventário ; Aq:Aquisição ; AC: Alocação de Capacidade ; FR: Fluxo Reverso

Deter: Determinístico; Est: Estático ; Din: Dinâmico MulC: Multi-Camadas

\* Classificação proposta por APTE (2009)

Tabela 2 – Continuação-Resumo artigos em desenho da cadeia de suprimentos humanitária

Referências	Função Objetivo				Período do Tempo		Topologia da Rede		
	Custo	Demanda	Tempo	Outros	MonP	MultP	MonC	DoC	MulC
(CHANG <i>et al.</i> , 2007)		✓			✓				✓
(TZENG, 2007)	✓		✓	✓		✓		✓	
(DURAN <i>et al.</i> , 2011)			✓		✓			✓	
(PAUL; GOVIND, 2012)	✓	✓			✓			✓	
(AFSHAR; HAGHANI, 2012)		✓		✓		✓			✓
(RAWLS <i>et al.</i> , 2012)	✓					✓	✓		
(GALINDO; BATA, 2013)	✓				✓			✓	
(JABBARZADEH <i>et al.</i> , 2014)	✓					✓	✓		
(VERMA; GAUKLER, 2015)				✓	✓				✓
(ZOKAEE <i>et al.</i> , 2016)	✓				✓				✓
(SAHEBJAMNIA <i>et al.</i> , 2016)	✓				✓				✓
(HASANZADEH <i>et al.</i> , 2016)	✓							✓	
(CHARLES <i>et al.</i> , 2016)	✓					✓	✓		
(TOFIGHI <i>et al.</i> , 2016)	✓				✓			✓	
(JAHRE <i>et al.</i> , 2016)	✓					✓		✓	
<b>Neste Trabalho</b>				✓		✓		✓	

Outros: i.e, Multi-Objetivo; Nível do Serviço  
 MonP: Mono-Período ; MultP: Multi-Período  
 MonC: Mono-Camada ; DoC: Duas-Camadas ; MulC: Multi-Camadas

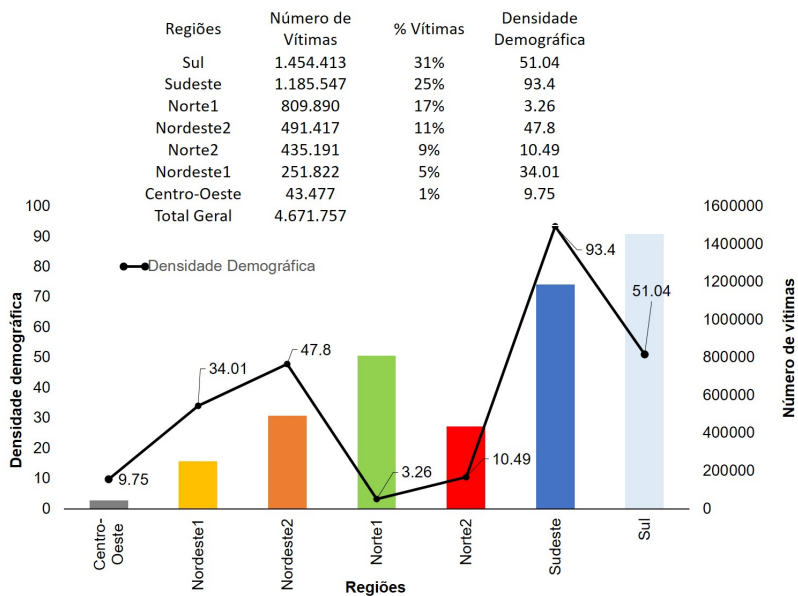
### 3 CONTEXTO DO PROBLEMA DE PESQUISA

Este capítulo descreve o contexto da gestão de desastres, bem como as características da rede humanitária de suprimentos no Brasil.

#### 3.1 Contextualização

No Brasil, a ocorrência de desastres de origem natural coincide com a deterioração das condições de vida nas cidades onde, em menos de um século, houve um crescimento significativo da população e inversão no tipo de ocupação do território. A Figura 2 mostra a densidade demográfica (População/  $km^2$ ) das regiões brasileiras em relação à quantidade de vezes em que foram atingidas nos desastres nos últimos 10 anos, o que permite inferir que o crescimento e densidade populacional aumenta a vulnerabilidade aos desastres e também dificulta as operações no pós-desastre, segundo as hipóteses consideradas no estudo proposto por Hummell *et al.* (2016).

Figura 2 – Número de vítimas afetadas pelas regiões do Brasil, período 2007- 2016

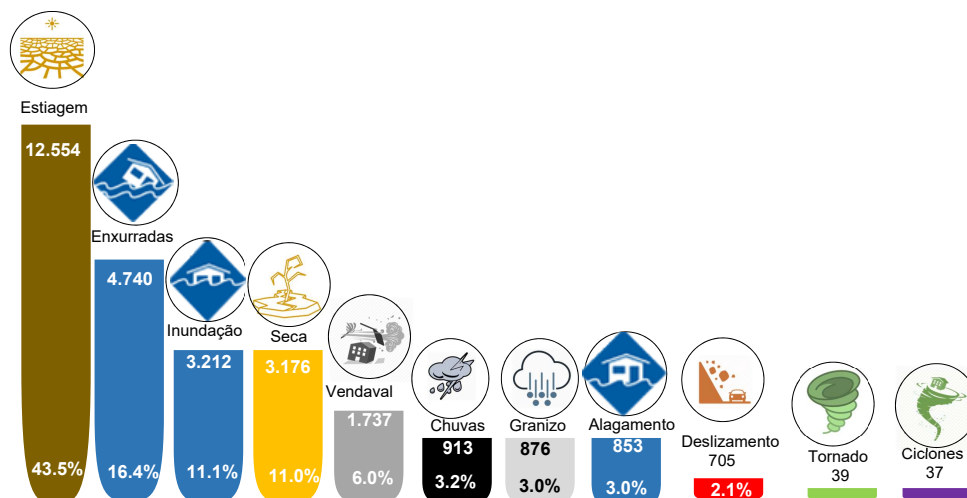


Fonte: Base dados Sistema Integrado de Informações sobre Desastres do Brasil S2iD  
Acesso Junho 2017

Outro fator importante é que a maioria das pessoas que viviam no meio rural passou a viver no meio urbano, o que ilustra esse aumento desproporcionado da população. Essa realidade pode ser verificada com o aumento de número de ocorrências, danos e prejuízos, ilustrados nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

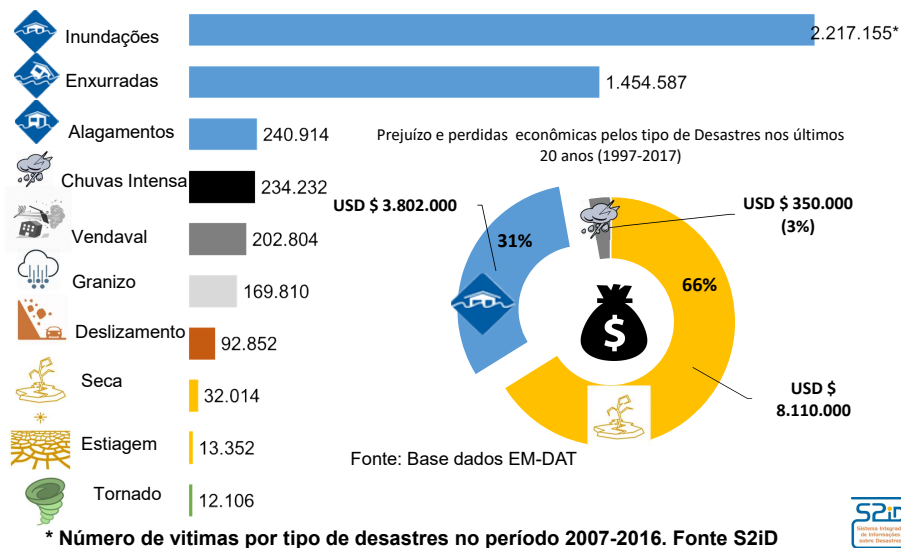
Os desastres naturais mais recorrentes registrados no Brasil são os decorrentes de estiagens (12.554), enxurradas (4.740), inundações (3.212), secas (3.176), vendavais (1.737), chuvas (913), granizos (876), alagamentos (853), tornados (39) e ciclones (37), registrando-se um total de 28.842 eventos nos últimos 10 anos (2007-2016), segundo as informações da bases de dados, (SEDC-CEPED/UFSC, 2018), sendo que nos ambientes urbanos, que abrigam a grande maioria da população brasileira, as inundações, as enxurradas e os deslizamentos de solo ou rocha constituem os eventos que causam os maiores impactos, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Percentagem de ocorrências de desastres naturais no período 2007- 2016 por tipo desastre.



Fonte: Base dados Sistema Integrado de Informações sobre Desastres do Brasil S2iD  
 Acesso Junho 2017

Figura 4 – Número de vítimas por tipo de desastres no período 2007-2016



Fonte: Base dados Sistema Integrado de Informações sobre Desastres do Brasil S2iD  
Acesso Junho 2017

O processo de urbanização do País, que se acelerou intensamente a partir da década de 1950, não foi acompanhado por políticas de desenvolvimento urbano que se preocupassem em prover moradia para toda a população. Sem condições de adquirir no mercado legal uma residência, importantes parcelas da população mais pobre ocuparam alguns terrenos menos valorizados em função de restrições à ocupação legal, seja devido à situação de risco potencial ou devido à necessidade de preservação ambiental. Assim os assentamentos precários se implantaram e se expandiram, com ocupação de áreas de elevado declive e margens de rios, gerando um quadro urbano de extrema vulnerabilidade a deslizamentos de encostas, inundações e enxurradas.

No que diz respeito às inundações (11.1%) e enxurradas (16.4%), é importante destacar sua relação com as ocupações nas cidades que, em sua maioria, se deram em áreas ribeirinhas (leito maior dos rios), principalmente nos lugares em que a frequência de



enchente é baixa.

Com o expressivo aumento da superfície impermeabilizada nas cidades, provocado pelas ocupações, e sua contribuição para o aumento da área de enchente, houve o aumento da frequência e a intensificação das inundações gerando, desse modo, danos a essas populações. A Figura 5 retrata a distribuição dos municípios afetados por, no mínimo, 10 eventos de inundações, enxurradas, enchentes e alagamentos e outros, entre janeiro de 2007 e dezembro de 2016, de acordo com as informações fornecidas pelo Sistema Integrado de Informações sobre Desastres do Brasil S2iD.

Figura 5 – Distribuição dos desastres naturais por região no Brasil 2007 a 2016

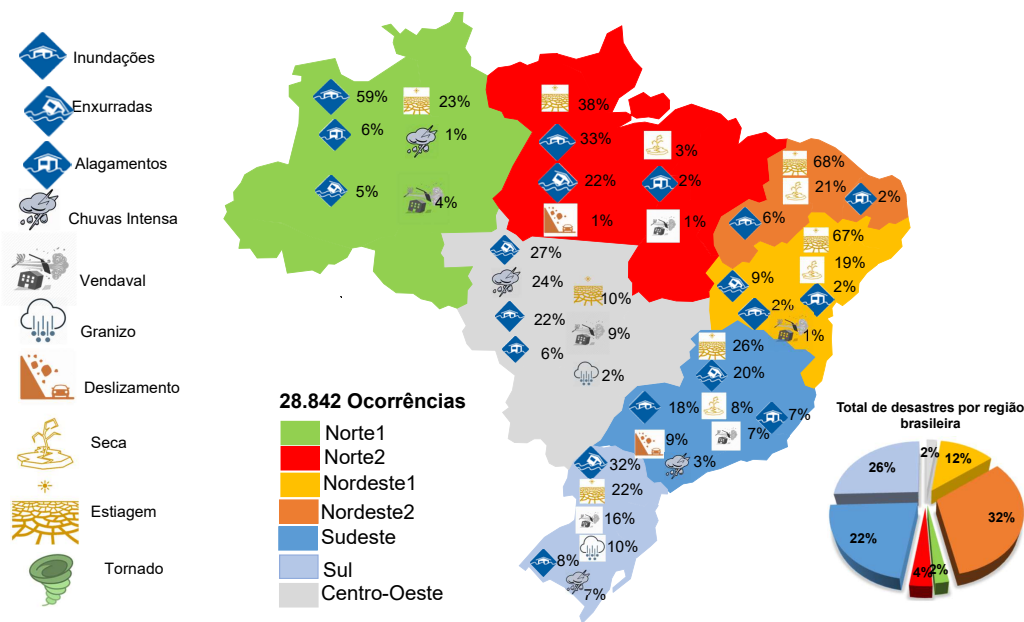


Figura 6 – Fonte: Base dados Sistema Integrado de Informações sobre Desastres do Brasil S2iD Acesso Junho 2017

Com essa distribuição, percebe-se a significativa concentração dessas situações de

risco em municípios das regiões Nordeste 2 (32%), Sul (26%), Sudeste (22%) e Nordeste 1 (12%), que representa mais do 90% dos eventos mais ocorrentes no território brasileiro. Quanto aos deslizamentos (3%), o aumento de ocorrências de desastres é, em sua maioria, derivado da ocupação inadequada de áreas de risco geológico potencial.

A ocupação de áreas íngremes por assentamentos precários, caracterizados pela ausência de infraestrutura urbana (principalmente sistemas de drenagem), a execução de cortes e aterros instáveis (sem estruturas de contenção de taludes), os depósitos de lixo nas encostas e a fragilidade das construções potencializam a fragilidade natural dos terrenos, o que resulta em áreas de risco sujeitas a deslizamentos, principalmente nos períodos chuvosos mais intensos e prolongados.

Entretanto, os bairros legalmente implantados também estão sujeitos a desastres associados a deslizamentos, pois o conhecimento do comportamento do meio físico ainda não foi adequadamente incorporado aos planos diretores, leis de uso e ocupação do solo ou ao processo de licenciamento dos novos parcelamentos do solo. Assim, não é incomum a aprovação de loteamentos e conjuntos habitacionais em áreas cujas condições geológicas recomendariam a utilização para atividades de caráter não permanente, como praças públicas, parques ou áreas verdes de lazer. Neste mesmo sentido, os dados disponíveis dos desastres naturais ocorridos entre 1991 a 2012 mostram que a realidade brasileira foi analisada pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que processou cerca de 39.000 registros e produziu o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, Anuário Brasileiro de Desastres Naturais (2012). Segundo o Atlas, os desastres mais representativos no território brasileiro são: seca e estiagem, inundação brusca, inundação gradual, vendaval e/ou ciclone e granizo. Esses desastres de origem natural têm incidência regional diferenciada. Por exemplo:

- Na região Norte, a maior frequência de desastres concentra-se no Estado do Pará, mais especificamente na porção Centro-Norte;
- No Nordeste, a recorrência de desastres, se concentra na maior parte dos estados da região, com exceção do Maranhão e do Oeste baiano;

- A região Centro-Oeste é a que representa áreas com menos frequência, os desastres se concentram apenas no Noroeste do Estado do Mato Grosso;
- No Sudeste brasileiro, o Norte mineiro, o Norte do Rio de Janeiro e praticamente todo o Estado do Espírito Santo apresentam-se como áreas de maior frequência de desastres;
- No Sul brasileiro, as maiores frequências abrangem o Sudoeste do Rio Grande do Sul e, praticamente, toda a extensão territorial do Estado de Santa Catarina.

Esses dados retratam uma realidade muito conhecida dos desastres, estabelecendo um perfil brasileiro dos desastres com maior frequência. Porém, na análise feita para o período 2007-2016, obtida da base de dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres do Brasil S2iD, pode-se perceber que existe uma distribuição muito parecida à referenciada no documento Atlas. A atual informação contém a distribuição percentual dos desastres nas regiões definidas pelo Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), para a gestão de desastres, como mostra a Figura 5, que basicamente foi elaborada para apresentar os 11 tipos de desastres naturais com maior número de vítimas afetadas no período 2007-2016.

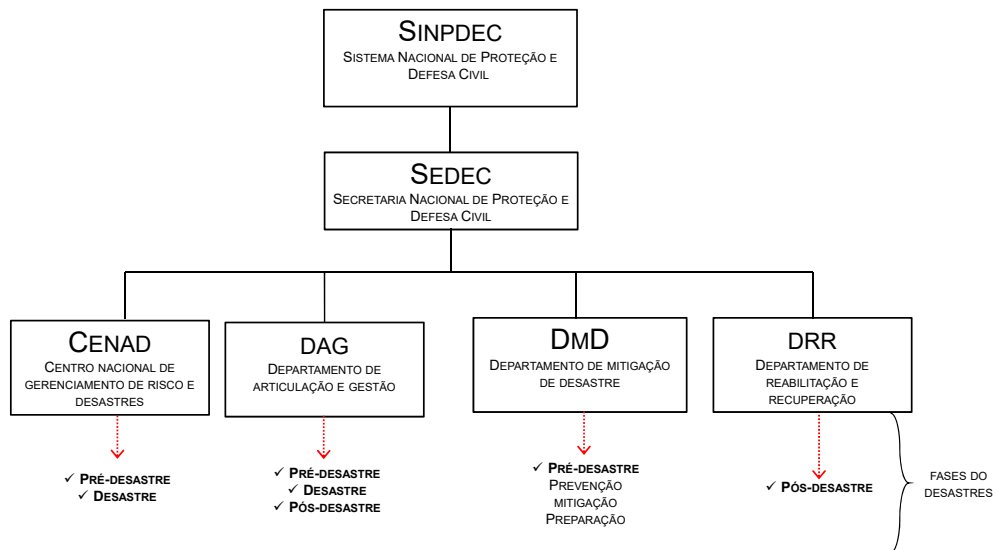
## **3.2 Cadeia humanitária de suprimentos no Brasil**

### **3.2.1 Gestão dos desastres no Brasil**

No Brasil, as atividades orientadas à gestão de desastres e às ações de proteção e defesa civil da população estão regidas pelo Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil- (SINPDEC), que está estruturado em diversas agências e entidades da administração pública federal, estadual, distrito federal e municipal, e outras organizações privadas que atuam na área de proteção e defesa civil. Uma das principais entidades que compõem o SINPDEC é a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil- (SEDEC), que tem como objetivo coordenar, planejar, articular e executar programas, projetos e ações de proteção e defesa civil no território nacional.

- O SEDEC está dividido em quatro principais departamentos ou entidades, conforme se ilustra 7. As atividades do CENAD compreendem o gerenciamento das ações estratégicas de preparação e resposta no território brasileiro e eventualmente no âmbito internacional.
- O DAG apoia, supervisiona e promove programas e planos de diretrizes relacionados à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), e por esta razão, sua ação abrange toda o ciclo de vida do desastre.
- O DMD é uma entidade orientada para desenvolver e implementar programas na fase de pré-desastre, incluindo atividades típicas de mitigação, prevenção e preparação.
- O DRR, que apoia, os programas na fase de pós-desastre em termos de reabilitação e recuperação. Obviamente, as práticas de todas essas entidades são mais complexas e implicam muitas responsabilidades.

Figura 7 – Organograma do SINPDEC



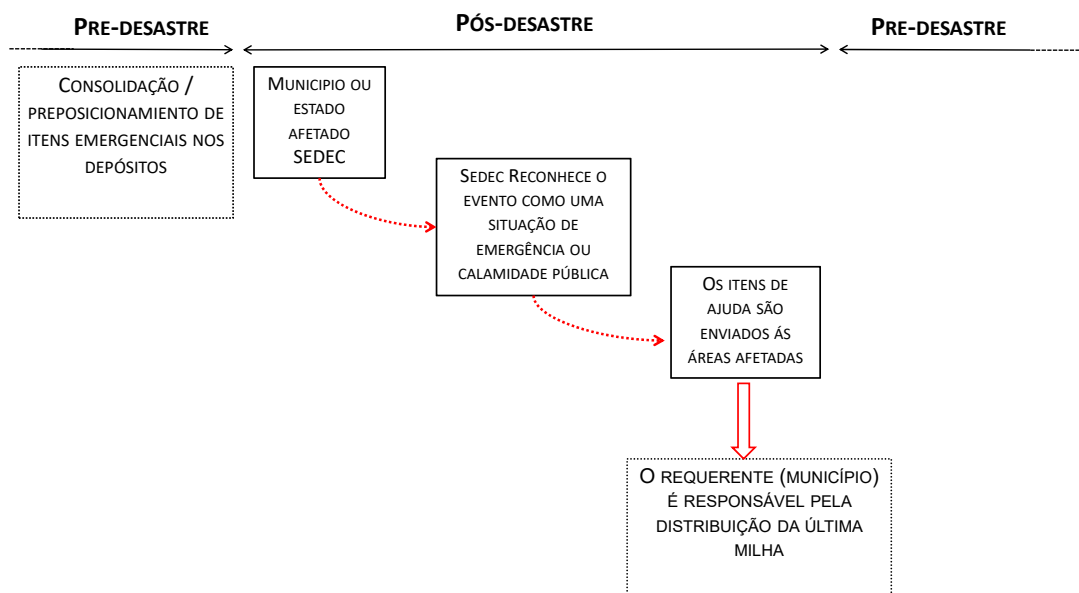
Nesta linha, a Defesa Civil Brasileira, representada pelo SEDEC e o Serviço Postal

Fonte: Adaptado de <http://www.mi.gov.br/web/guest/sedec/organograma>

Brasileiro (Correios), estabeleceram um acordo em julho de 2013 para criar o programa de gestão de estoques estratégicos para assistência humanitária e o fornecimento dos principais produtos emergenciais (cesta de alimentos, kit de medicamentos, água, entre outros itens). O acordo negociado fazia parte de um programa de resposta a desastres concebido pelo CENAD e coordenado pelo SEDEC. Inicialmente, esses estoques seriam pré- posicionados em municípios de cada macrorregião do país. As cidades escolhidas foram: Recife (PE), Manaus (AM), Porto Alegre (RS), Rio de Janeiro (RJ) e Brasília (DF), que pertencem ao Nordeste, Norte, Sul, Sudoeste e Centro-Oeste, respectivamente. No entanto, haveria uma oportunidade para expandir os estoques para outros municípios.

O objetivo principal dessa estratégia de preposicionamento concebida e realizada pela Instância Federal (SEDEC) foi complementar a assistência de emergência inicial prestada pelos municípios e estados. O processo burocrático para avaliar os itens de socorro é mostrado na Figura 8. Primeiro, o estado afetado ou município solicita a assistência de socorro da SEDEC. Uma vez que a SEDEC reconhece a necessidade real do requerente, os itens de socorro são desdobrados dos depósitos e enviados para o estado/município que é responsável pela execução da distribuição de última milha.

Figura 8 – Processo para preposicionamento de itens emergenciais.



Fonte: ALEM *et al.* (2017)

Aparentemente, o acordo de pré-posicionamento foi cancelado pela complexidade inerente às operações de logística e seus evidentes custos. Em vez disso, a Defesa Civil usou uma estratégia de aquisição de licitação na qual os fornecedores são selecionados a priori para atender as necessidades das vítimas dentro de 192 horas para a região Norte e 96 horas para as regiões restantes. No entanto, a maioria dos bens de socorro é necessária nas primeiras 48 horas críticas após um desastre, o que torna esta estratégia mais cara em termos de custos de privação e, por esse motivo, o município/estado deve estar preparado para agir em defesa das vítimas mais vulneráveis. Por um lado, o preposicionamento tem a desvantagem de ser, às vezes, proibitivamente complicado e caro. Para BALCIK e BEAMON (2008), por outro lado, essa prática é também uma das estratégias mais eficazes para lidar com o início lento, repentino e disperso de um desastre.

Assim, o pré-posicionamento deve representar uma série de decisões de logística desafiadoras relativas a depósitos e bens a ser custo-efetivos, como a localização e o

tamanho dos depósitos para armazenar os bens e os tipos e as quantidades dos bens que precisam ser armazenados. Como o estabelecimento de depósitos geralmente envolve decisões dispendiosas a longo prazo (construção de edifícios ou contratos de aluguel), não é desejável alterar seu tamanho ou localização em um horizonte de médio ou curto prazo. Concomitantemente, o tempo, a localização, o tipo e o impacto/tamanho de desastres podem variar muito e rapidamente, especialmente em um país de dimensões continentais que apresenta diferenças climatológicas marcadas entre várias regiões e estados como o Brasil. Se determinarmos uma estratégia pré-posicionada para um desastre particular de forma independente de potenciais outros, podemos obter uma rede de armazenamento cara e desnecessária.

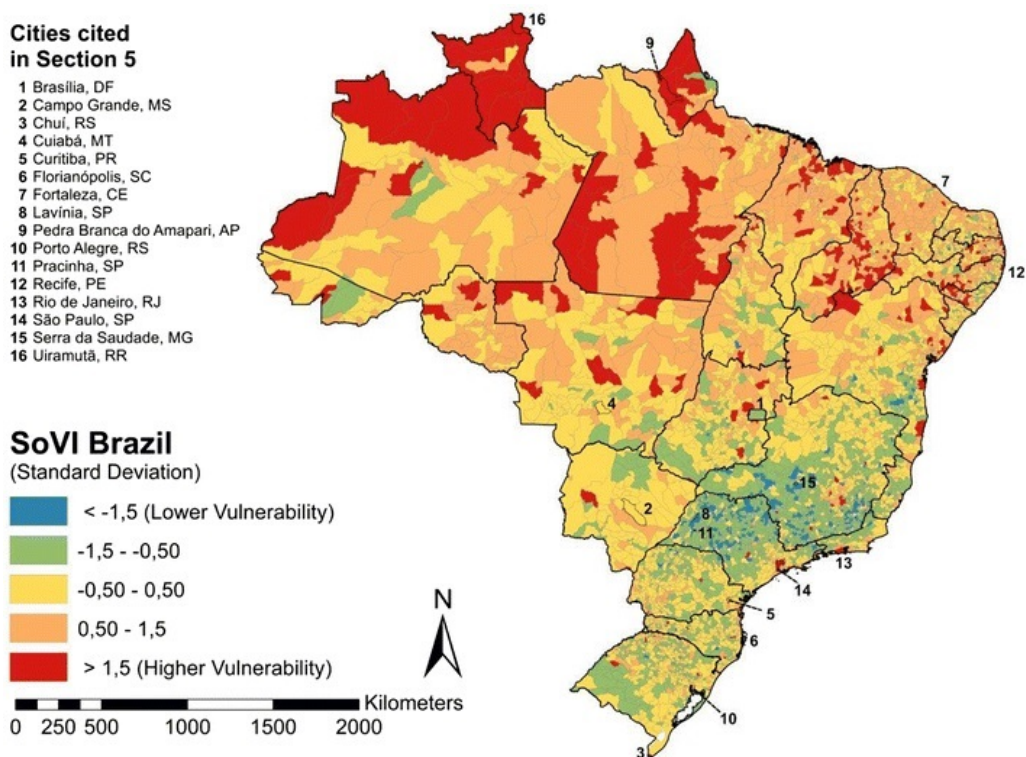
Nesta ordem de ideias, percebe-se que o problema de desenho de uma rede humanitária de suprimentos no território brasileiro, com integração e coordenação das operações humanitárias, ainda é um desafio do governo federal. A mitigação dos esforços nas atividades de planejamento e gestão dos danos causados por eventos decorrentes, ano pós ano, é uma prática que continua sendo um risco latente para a gestão pública. Nesta perspectiva, as instituições governamentais, muitas vezes, só aplicam ações de resposta e reconstrução, uma vez que o evento atinge aleatoriamente a população.

O Estado, por sua vez, não investe em ações de prevenção e risco para planejamento das operações da logística humanitária, assim como também não fomenta políticas públicas que levem em consideração o planejamento urbano, habitação, oferta e uso de água, saneamento básico, conservação ambiental, dentre outros aspectos que compõem o Índice de Vulnerabilidade Social, (SoVI). Por isso, emprega-se este índice para apoiar o planejamento das operações na fase de resposta e conhecer quantitativamente as relações sociais que envolvem os desastres naturais na áreas mais vulneráveis do território brasileiro.

A motivação desta pesquisa, advém do recente trabalho Hummell *et al.* (2016) que traz conclusões importantes e descreve uma metodologia que pode ser utilizada na gestão, para a prevenção e mitigação de desastres no Brasil. Além disso, os resultados deste estudo confirmam, de maneira geral, que as disparidades sociais e econômicas entre as regiões do Brasil refletem-se na vulnerabilidade social aos desastres naturais. O SoVI permite monitorar o progresso da redução da vulnerabilidade ao longo do tempo (de acordo com a

disponibilidade de dados), identificar as cidades do Brasil mais e menos vulneráveis, como se mostra na Figura 9. Os resultados oferecem diretrizes para formuladores de políticas públicas desenvolverem ferramentas para ajudar as diferentes populações a se preparar de forma mais eficaz e se recuperar dos desastres, e assim reduzir perdas.

Figura 9 – Espacialidade do SoVI no Brasil.



Fonte: (HUMMELL *et al.*, 2016)



## 4 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM MATEMÁTICA

No presente capítulo serão descritos o problema e o modelo de PLIM como apoio à tomada de decisões para rede de logística humanitária no Brasil definida na seção 3.2.

### 4.1 Descrição do Problema

O problema de configuração da rede de logística humanitária no Brasil se define como a integração de diversas decisões para o planejamento das operações humanitárias numa perspectiva de longo prazo, conforme discutido no capítulo anterior. Assim neste trabalho foram identificados 6 tipos de produtos, ou *commodities*, comumente utilizados para atendimento das áreas atingidas pelos desastres brasileiros. Os produtos são: água, cesta básica de alimentos, *kits* de higiene pessoal, limpeza pessoal, colchão e produtos para dormir. Além disso, serão considerados 2 tipos de instalações: depósitos e centros de auxílio. Depósitos são grandes locais de escala nacional, ou seja, visam a distribuição de *commodities* para todo o país. Centros de auxílio são instalações provisórias próximas às áreas afetadas que recebem o atendimento direto delas. Esses centros de auxílio podem ser estabelecidos, por exemplo, em ginásios municipais, escolas, igrejas, ou seja, localizações que possuem outras funções efetivamente. Porém, durante a ocorrência de desastres naturais são adaptados para o atendimento das pessoas afetadas.

No modelo matemático são fornecidos lugares candidatos à construção ou adaptação dessas instalações, para a tomada de decisão de localização. Destaca-se que o fluxo natural de distribuição é o seguinte: os depósitos distribuem *commodities* para os centros de auxílio, que por sua vez, atendem as áreas afetadas, ou seja, um depósito não atenderá diretamente os locais afetados por desastres naturais. Parte-se do pressuposto de que as pessoas têm mobilidade para adquirir os produtos emergenciais nos centros de auxílio ou que as mesmas já foram evacuadas.

O início da distribuição ocorre através do preposicionamento de produtos nos

depósitos, cuja quantidade é outra decisão apoiada pelo modelo matemático. Esse posicionamento significa o quanto o depósito deve adquirir de cada tipo de produto para o atendimento da demanda solicitada em um determinado período de tempo, diferente de ser simplesmente uma quantidade em inventário. Além disso, é possível a criação de estoques nos depósitos quando se deseja manter os produtos armazenados por mais períodos de tempo (as escalas de tempo consideradas serão melhores definidas a seguir). Com produtos posicionados ou estocados, a distribuição ocorre para os centros de auxílio (fluxo direto).

Nos centros de auxílio também é possível o armazenamento por períodos maiores de tempo. Por outro lado, é possível realizar a compra de produtos nas regiões afetadas. Logicamente a quantidade de compra é bem limitada, visto o ambiente fragilizado no pós-desastre. Além disso, o custo desses produtos também é maior quando comparados aos custos de posicionamento nos depósitos, pois é comum que os vendedores locais tirem vantagem da situação de vulnerabilidade. Com os produtos entregues ou armazenados nos centros de auxílio, o modelo define quais centros de auxílio atenderão a cada área afetada, destacando-se que cada área afetada pode ser atendida por mais do que um centro de auxílio, desde que sua demanda seja atendida na totalidade.

Ao definir as instalações existentes no modelo matemático, podem-se estabelecer os possíveis fluxos entre elas, que são os seguintes:

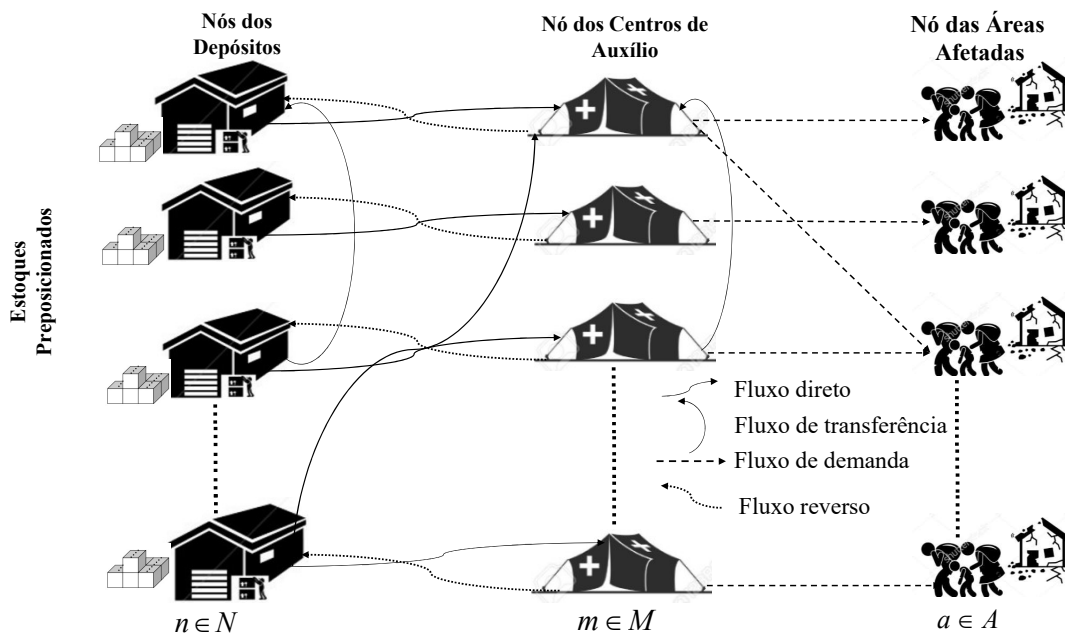
- Fluxo direto: é a distribuição de *commodities* dos depósitos aos centros de auxílio que visam o atendimento da demanda.
- Fluxo de transferência: distribuição de produtos entre instalações de mesmo nível, ou seja, transporte de *commodities* entre depósitos ou entre centros de auxílio.
- Fluxo reverso: esse fluxo representa o retorno de *commodities* dos centros de auxílio para os depósitos.

Outras decisões relacionadas aos depósitos são de abertura, expansão ou fechamento. O problema se inicia apenas com informações dos candidatos a depósitos, pois se assume que nenhum está efetivamente aberto antes da ocorrência do desastre. Após o início das atividades dos depósitos, os mesmos podem ser expandidos ou fechados. O modelo leva

em consideração os custos relacionados à operação, expansão e fechamento, assim como a demanda por *commodities* para a decisão de manter a mesma capacidade, expandir ou reduzir os depósitos. A expansão pode ser feita uma vez por período de tempo e a capacidade de expansão também é limitada. Os centros de auxílio podem ser abertos ou fechados apenas.

A Figura 10 ilustra as instalações e os fluxos de distribuição de *commodities* na topologia da rede de suprimentos humanitária proposta:

Figura 10 – Proposta de topologia da rede humanitária integrada.



Fonte: Elaboração própria.

O horizonte de planejamento é definido pelos seguintes tipos de períodos de tempo: macroperíodos de tempo e microperíodos de tempo; a ideia dessa divisão temporal é proporcionar uma maior coordenação da cadeia de suprimentos com a integração de

decisões de curto prazo, que são tomadas com maior frequência (e.g., abertura de centros de auxílio), e decisões de médio prazo, que são tomadas com menor frequência ou que são reavaliadas após períodos mais longos, e.g., abertura de depósitos. Nesse estudo, os microperíodos são de meses/semestres, enquanto os macroperíodos são compostos por anos.

#### 4.1.1 Decisões estratégicas no longo prazo

Decisões tomadas nos macroperíodos de tempo:

- Abertura de depósitos;
- Capacidade expandida dos depósitos;
- Capacidade reduzida dos depósitos;
- Fechamento de depósitos;
- Quantidade estocada nos depósitos;
- Quantidade preposicionada nos depósitos.

#### 4.1.2 Decisões táticas/operacionais no médio/curto prazo

Decisões tomadas nos microperíodos de tempo:

- Abertura de centros de auxílio;
- Desinstalação de centros de auxílio;
- Quantidade estocada nos centros de auxílio;
- Quantidade distribuída por fluxos diretos, de transferência e de retorno;
- Quantidade de *commodities* comprada por centros de auxílio;
- Fração da demanda das áreas afetadas atendida pelos centros de auxílio.

Para a tomada dessas decisões, são levados em consideração os seguintes custos: abertura, operação, expansão e redução da capacidade dos depósitos; custos de abertura/operação de centros de auxílio; custos de preposicionamento, compra e estoque das *commodities* em cada tipo de instalação; custos de distribuição de produtos e custo de designação dos centros de auxílio às áreas afetadas.

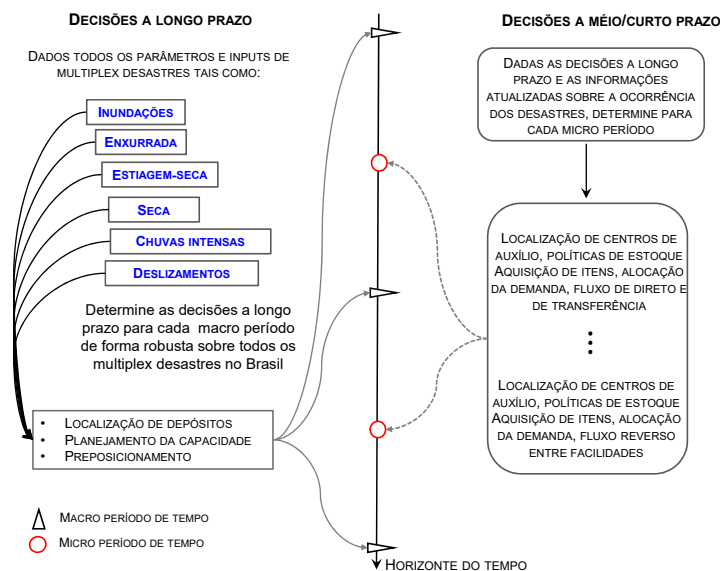
#### 4.1.3 Pressupostos do Modelo Matemático

- O horizonte de planejamento envolve decisões estratégicas e táticas;
- No modelo matemático são fornecidos lugares candidatos à construção ou adaptação, para a tomada de decisão de localização de depósitos e centros de auxílio;
- A formulação do modelo matemático não considera que os depósitos atendam diretamente as áreas afetadas pelos desastres. Assume-se que as pessoas afetadas têm mobilidade para adquirir os produtos emergenciais nos centros de auxílio ou que as mesmas já foram evacuadas;
- O modelo leva em consideração que existem candidatos a depósitos, pois se assume que nenhum deles está efetivamente aberto antes da ocorrência do desastre;
- A decisão de expandir um depósito pode ser feita uma vez por cada macroperíodo de tempo, e a capacidade de expansão é limitada;
- Os centros de auxílio só podem ser abertos ou fechados - não se considera a decisão de expandi-los;
- A formulação do modelo considera duas escalas de tempo: macroperíodos (anos) e microperíodos (meses ou trimestres);
- Nos depósitos, assume-se que o estoque inicial é permitido apenas para depósitos preexistentes;
- Assume-se, sem perda de generalidade, que os estoques iniciais nos centros de auxílio são zero; isso é razoável, uma vez que essas instalações são temporárias e abertas especificamente para atender a um desastre;

- Existe a possibilidade de comprar produtos emergenciais nas áreas afetadas, porém essa quantidade é limitada;
- Assume-se que existe uma quantidade mínima preposicionada no depósito  $n$ , para que economicamente seja viável instalá-lo;
- Assume-se que o Índice de Vulnerabilidade Social pode tomar valores (positivo ou negativo) de cada componente, de acordo com sua influência na vulnerabilidade social. Os fatores foram escalados de forma que valores positivos indiquem níveis maiores de vulnerabilidade, enquanto valores negativos diminuam a vulnerabilidade.

As decisões que abrangem o modelo matemático podem se representar mediante a Figura 11, que ilustra e sumariza as principais decisões alocadas no respectivo horizonte de planejamento.

Figura 11 – Estrutura das decisões na modelagem matemática



Fonte: Adaptada do ALEM *et al.* (2017)

## 4.2 Estratégias para o atendimento da demanda

Nesta abordagem matemática são considerados 3 tipos de estratégias no campo da logística humanitária para satisfazer a demanda dos itens emergenciais na áreas afetadas. Neste caso, são:

- Preposicionamento puro: Essa estratégia consiste em satisfazer a demanda dos itens emergenciais, ativando a capacidade necessária de cada depósito instalado, para o atendimento da demanda solicitada em um determinado período de tempo na fase de pré-desastre; dessa forma, inicia-se a distribuição dos fluxos de produtos nos depósitos para os centros de auxílio e áreas afetadas;
- Aquisição pura: Essa estratégia consiste em adquirir ou comprar itens emergenciais diretamente nos centros de auxílio para satisfazer a demanda necessária no pós-desastre. Convém salientar que para ativar as compras os centros de auxílio dispõem da capacidade;
- Híbrida: A estratégia híbrida combina as estratégias de preposicionamento e aquisição de produtos para obter um balanço entre elas e assim conseguir o atendimento da demanda.

Por fim, o objetivo do problema é maximizar o número de vítimas atendidas de acordo com sua vulnerabilidade social, considerando uma situação de orçamento escasso. A seguir apresenta-se o modelo matemático (4.3) em três partes. Em primeiro lugar, a função objetivo é desenvolvida na subseção (4.4). Em segundo lugar, se define o conjunto das restrições para os depósitos na subseção (4.4.1) e, finalmente mostra-se as restrições associadas aos centros de auxílio (4.4.2).

### 4.3 Modelo Matemático

#### Índices e Conjuntos

$c \in \mathcal{C}$	Commodities.
$n \in \mathcal{N}$	Nós candidatos a depósitos.
$m \in \mathcal{M}$	Nós candidatos a centros de auxílio.
$k \in \mathcal{N} \cup \mathcal{M}$	Conjunto de todos os nós da rede.
$a \in \mathcal{A}$	Áreas afetadas.
$t \in \mathcal{T}$	Macroperíodo de tempo.
$\tau \in \mathcal{T}^t$	Microperíodo de tempo.

#### Parâmetros de custo

$\gamma_{nt}^{w-new}$	Custo de instalação do depósito $n$ no macroperíodo $t$ $\left(\frac{R\$}{m^2}\right)$ .
$\gamma_{nt}^{w-o}$	Custo de operação do depósito $n$ no macroperíodo $t$ $\left(\frac{R\$}{m^2}\right)$ .
$\gamma_{nt}^{w-e}$	Custo de expansão do depósito $n$ no macroperíodo $t$ $\left(\frac{R\$}{m^2}\right)$ .
$\gamma_{nt}^{w-u}$	Custo de redução do depósito $n$ no macroperíodo $t$ $\left(\frac{R\$}{m^2}\right)$ .
$\gamma_{m\tau}^{rc-new-o}$	Custo de estabelecimento e operação do centro de auxílio $m$ no microperíodo $\tau$ $\left(\frac{R\$}{m^2}\right)$ .
$l_{cnt}^w$	Custo de estoque para a <i>commodity</i> $c$ no depósito $n$ no macroperíodo $t$ $\left(\frac{R\$}{un}\right)$ .
$l_{cm\tau}^{rc}$	Custo de estoque para a <i>commodity</i> $c$ no centro de auxílio $m$ no microperíodo $\tau$ $\left(\frac{R\$}{un}\right)$ .
$\mu_{cm\tau}$	Custo de compra da <i>commodity</i> $c$ no centro de auxílio $m$ no microperíodo $\tau$ $\left(\frac{R\$}{un}\right)$ .
$\rho_{cnt}$	Custo de preposicionar a <i>commodity</i> $c$ no depósito $n$ no macroperíodo $t$ $\left(\frac{R\$}{un}\right)$ .
$\chi_{kk'\tau}$	Custo de transporte entre os nós $k$ e $k'$ no microperíodo $\tau$ $\left(\frac{R\$}{un}\right)$ .
$\zeta_{am\tau}$	Custo de atendimento da área afetada $a$ ao centro de auxílio $m$ no microperíodo $\tau$ $(R\$)$ .



**Parâmetros gerais**

$d_{ca\tau}$	Demanda pela <i>commodity</i> $c$ na área afetada $a$ no microperíodo $\tau$ ( $un$ ).
$h_{cn}^0$	Estoque inicial da <i>commodity</i> $c$ no depósito $n$ ( $un$ ).
$h_{cn}^{w-\max}$	Estoque máximo da <i>commodity</i> $c$ no depósito $n$ ( $un$ ).
$h_{cm}^{rc-\max}$	Estoque máximo da <i>commodity</i> $c$ no centro de auxílio $m$ ( $un$ ).
$p_{nt}^{\min}$	Quantidade mínima de posicionamento no depósito $n$ no macroperíodo $t$ ( $un$ ).
$p_c^{\max}$	Quantidade máxima de posicionamento da <i>commodity</i> $c$ ( $un$ ).
$q_n^0$	Capacidade inicial do depósito $n$ ( $m^2$ ).
$q_n^{\max-w}$	Capacidade máxima de expansão do depósito $n$ ( $m^2$ ).
$q_m^{rc-\min}$	Capacidade mínima do centro de auxílio $m$ ( $m^2$ ).
$q_m^{\max-rc}$	Capacidade máxima do centro de auxílio $m$ ( $m^2$ ).
$\beta_t$	Orçamento financeiro disponível no macroperíodo $t$ . ( $R\$$ ).
$SoVI_a$	Índice de Vulnerabilidade Social associado a área afetada $a$ . ( <i>adimensional</i> ).
$f_c$	Fator de conversão de $\left(\frac{m^2}{un}\right)$ para cada <i>commodity</i> $c$ .

**Variáveis de Decisão Não-negativas**

$I_{cnt}^w$	Quantidade da <i>commodity</i> $c$ estocada no depósito $n$ no macroperíodo $t$ . ( $un$ ).
$I_{cm\tau}^{rc}$	Quantidade da <i>commodity</i> $c$ estocada no centro de auxílio $m$ no microperíodo $\tau$ . ( $un$ ).
$P_{cnt}$	Quantidade da <i>commodity</i> $c$ posicionada no depósito $n$ no macroperíodo $t$ . ( $un$ ).
$Q_{nt}^w$	Capacidade do depósito $n$ no macroperíodo $t$ . ( $m^2$ ).
$Q_{nt}^{w-e}$	Capacidade expandida do depósito $n$ no macroperíodo $t$ . ( $m^2$ ).
$Q_{nt}^{w-u}$	Capacidade reduzida do depósito $n$ no macroperíodo $t$ . ( $m^2$ ).
$Q_{m\tau}^{rc}$	Capacidade do centro de auxílio $m$ no microperíodo $\tau$ . ( $m^2$ ).
$W_t$	Contabiliza o dinheiro não usado no macroperíodo $t$ . ( $R\$$ ).

$U_{cm\tau}^{rc}$	Quantidade de <i>commodity</i> $c$ comprada no centro de auxílio $m$ no micro-período $\tau$ . ( <i>un</i> ).
$X_{cnm\tau}^{w-rc}$	Fluxo de <i>commodity</i> $c$ do depósito $n$ para o centro de auxílio $m$ no microperíodo $\tau$ . ( <i>un</i> ).
$X_{cmn\tau}^{rc-w}$	Fluxo de <i>commodity</i> $c$ centro de auxílio $m$ para o depósito $n$ no microperíodo $\tau$ . ( <i>un</i> ).
$X_{ckk'\tau}$	Fluxo de <i>commodity</i> $c$ entre dois nós da mesma camada no micro-período $\tau$ . ( <i>un</i> ).
$Z_{am\tau}$	Fração da demanda da área afetada $a$ que é designada ao centro de auxílio $m$ no microperíodo $\tau$ . ( <i>un</i> ).

#### Variáveis de Decisão binárias

$Y_{nt}^w$	= 1, se depósito $n$ é aberto no macroperíodo $t$ ; 0, caso contrário.
$Y_{nt}^{w-e}$	= 1, se depósito $n$ é expandido no macroperíodo $t$ ; 0, caso contrário.
$Y_{nt}^{w-u}$	= 1, se depósito $n$ é reduzido no macroperíodo $t$ ; 0, caso contrário.
$Y_{m\tau}^{rc}$	= 1, se o centro de auxílio $m$ é aberto no microperíodo $\tau$ ; 0, caso contrário.
$Y_{m\tau}^{rc-o}$	= 1, se o centro de auxílio $m$ está operando no microperíodo $\tau$ ; 0, caso contrário.

## 4.4 Modelo de Maximização

O seguinte modelo de otimização é uma ferramenta para planejar as operações humanitárias de longo prazo no Brasil. Nesse sentido, o objetivo de otimização é maximizar a distribuição de ajuda humanitária priorizando a vulnerabilidade social, com base no chamado Índice de Vulnerabilidade Social, (SoVI), recentemente analisado para o território brasileiro pelo autores (HUMMELL *et al.*, 2016). O SoVI, é uma métrica comparativa que permite examinar a vulnerabilidade social entre unidades geográficas (municípios, áreas ou

regiões). Ele ilustra graficamente a variação geográfica da vulnerabilidade social, indicando onde existe capacidade de resposta e onde os recursos podem ser mais efetivos no momento de definir políticas para a alocação dos mesmos durante o ciclo de vida de um desastre. Por exemplo, proporcionando um maior atendimento às pessoas afetadas que mais precisam durante o transcurso de um desastre.

Esse índice compara várias dimensões, como status socioeconômico, gênero, emprego e educação, entre outras. Cada dimensão pode ser composta por uma série de variáveis, por exemplo o status socioeconômico, que inclui três variáveis: a porcentagem de pessoas extremamente pobres, a porcentagem de famílias que vivem com mais de uma família e a porcentagem de domicílios sem telefone. Normalmente, essas variáveis são reduzidas por testes estatísticos e padronizados para resultar no índice SoVI final. Desta maneira, se apresenta a seguinte função objetivo (1).

$$\max \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^t} \text{SoVI}_a \cdot Z_{am\tau}. \quad (1)$$

#### 4.4.1 Restrições associadas aos depósitos

As restrições (2) e (3) garantem que o tamanho do depósito não pode ser instalado ou reduzido, respectivamente, mais de uma vez durante o horizonte de macroperíodo.

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} Y_{nt}^w \leq 1, \forall n \in \mathcal{N}. \quad (2)$$

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} Y_{nt}^{w-u} \leq 1, \forall n \in \mathcal{N}. \quad (3)$$

A restrição (4) garante que o depósito não pode ser expandido, a menos que tenha sido instalado em algum período anterior. Similarmente, a restrição (5) garante que o depósito pode ser reduzido apenas caso tenha sido instalado previamente.

$$Y_{nt}^{w-e} \leq \sum_{t'=1}^t Y_{nt'}^w, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T}. \quad (4)$$

$$Y_{nt}^{w-u} \leq \sum_{t'=1}^t Y_{nt'}^w, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T}. \quad (5)$$

A restrição (6) garante que um depósito não pode ser instalado, expandido ou reduzido simultaneamente no mesmo macroperíodo  $t$ . Isso é válido para todos os depósitos a partir do primeiro macroperíodo e assim por diante.

$$Y_{nt}^w + Y_{nt}^{w-e} + Y_{nt}^{w-u} \leq 1, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T}. \quad (6)$$

As restrições (7) e (8) asseguram que é necessário garantir uma quantidade mínima preposicionada no depósito  $n$  para ser economicamente viável instalá-lo no macroperíodo  $t$ . Além disso, a (8) garante que a capacidade do depósito seja respeitada pela quantidade preposicionada em todos os períodos  $t$  e para todos os depósitos  $n$ . A restrição (9) garante que existe uma quantidade máxima a ser preposicionada de cada produto emergencial  $c$  em todos os períodos e os depósitos  $n$ .

$$\sum_{c \in \mathcal{C}} P_{cnt} \geq p_{nt}^{\min} \cdot Y_{nt}^w, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T} \quad (7)$$

$$\sum_{c \in \mathcal{C}} P_{cnt} \cdot f_c \leq Q_{nt}^w \cdot Y_{nt}^w, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T}. \quad (8)$$

$$\sum_{n \in \mathcal{N}} \sum_{t \in \mathcal{T}} P_{cnt} \leq p_c^{\max} \cdot Y_{nt}^w, \forall c \in \mathcal{C}. \quad (9)$$

A restrição (10) define o nível de capacidade do depósito  $n$  no macroperíodo  $t$  como a capacidade do macroperíodo anterior  $t - 1$ , adicionado a capacidade expandida e subtraindo a capacidade reduzida para o período  $t > 1$ .

$$Q_{nt}^w = Q_{nt-1}^w + Q_{nt}^{w-e} - Q_{nt}^{w-u}, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T} \setminus \{1\}. \quad (10)$$

A capacidade máxima de expansão é definida pela restrição (11). Ela permite que apenas os depósitos sejam expandidos se  $Y_{n(t=1)}^{w-e}$ , e conseqüentemente, se  $Y_{n(t=1)}^w$ , o que é garantido pela restrição (4).

$$Q_{nt}^{w-e} \leq q_n^{w-\max} \cdot Y_{nt}^{w-e}, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T}. \quad (11)$$

A restrição (12) define o limite superior para a capacidade do depósito  $n$ , ou seja, a capacidade máxima que um depósito pode atingir, se ele for aberto no primeiro macroperíodo e for expandido na máxima quantidade em todos os períodos subsequentes. Ao mesmo tempo, lembre-se que a capacidade do depósito  $n$  pode ser maior do que zero no macroperíodo  $t$  apenas se o depósito foi instalado uma vez (em  $t$  ou antes) eo mesmo depósito não foi fechado no macroperíodo  $t$  ou antes.

$$Q_{nt}^w \leq (q_n^0 + t \cdot q_n^{w-\max}) \cdot \left[ \sum_{t'=1}^t Y_{nt'}^w - \sum_{t'=1}^t Y_{nt'}^{w-u} \right], \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T}. \quad (12)$$

Similarmente, a restrição (13) estabelece o limite máximo de redução da capacidade dos depósitos quando  $Y_{nt}^{w-u} = 1$ . Note-se que a redução é o máximo entre esse valor e o valor da capacidade atual, que é respeitada pelo balanço dado por a equação (10 e a não negatividade. Essa restrição apenas relaciona a quantidade de redução com a variável binária.

$$Q_{nt}^{w-u} \leq (q_n^0 + t \cdot q_n^{w-\max}) \cdot Y_{nt}^{w-u}, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T}. \quad (13)$$

A restrição (14) força os fluxos saindo ou entrando no depósito  $n$  para ser zero, a menos que o depósito correspondente tenha sido instalado no macroperíodo  $t$ , ou antes, e o mesmo depósito não tenha sido reduzido no macroperíodo  $t$  ou anterior. Observe-se que temos dois tipos de fluxo que deixam o depósito  $n$ , que são o fluxo direto para centros de auxílio e o fluxo de transferência para outros depósitos, mostrando assim a necessidade das duas primeiras restrições. Além disso, temos fluxos diretos e reversos chegando a

$n$ , o que explica o necessário para ter as duas últimas equações. Também, esse conjunto de restrições limita o fluxo de *commodities* que saem ou chegam de qualquer direção à capacidade máxima permitida do depósito  $n$ , i.e,  $q_n^0 + t \cdot q_n^{w-\max}$ .

$$Q_{nt}^w \geq \left\{ \begin{array}{l} \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^t} X_{cnm\tau}^{w-rc} \cdot f_c, \\ \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{\substack{n' \in \mathcal{N} \\ n' \neq n}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^t} X_{cnn'\tau} \cdot f_c, \\ \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^t} X_{cmn\tau}^{rc-w} \cdot f_c, \\ \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{\substack{n' \in \mathcal{N} \\ n' \neq n}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^t} X_{cn'n\tau} \cdot f_c, \end{array} \right. \quad \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T}. \quad (14)$$

A restrição (15) expressa o balanço de fluxo das *commodities* preposicionadas no estoque do depósito  $n$  no macropériodo  $t$ , como se ilustra na Figura 12. Nessa equação, o lado esquerdo (LHS) consiste de (i) quantidade preposicionada; (ii) estoque usável restante do período anterior; (iii) quantidade de *commodities* provenientes de centros de auxílio (fluxo de retorno); (iv) quantidade de *commodities* vindas de outros depósitos. O lado direito (RHS) expressa (i) quantidade de *commodities* que saem do depósito  $n$  para outros depósitos; (ii) quantidade de *commodities* que são enviadas do depósito para os centros de auxílio; (iii) quantidade de *commodities* que permanecem em estoque. O estoque inicial é permitido apenas para depósitos pré-existentes. As restrições (16) e (17) garantem que o estoque no depósito  $n$  respeita a capacidade do depósito e o estoque máximo permitido.

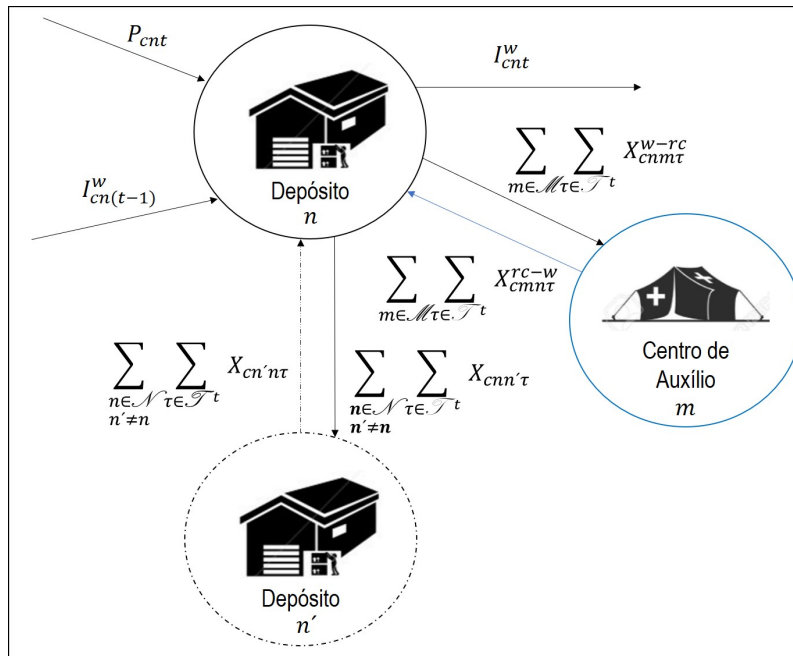
$$P_{cnt} + I_{cn(t-1)}^w + \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}_1^\tau} X_{cmm\tau}^{rc-w} + \sum_{\substack{n' \in \mathcal{N} \\ n' \neq n}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}_1^\tau} X_{cn'n\tau} = \sum_{\substack{n' \in \mathcal{N} \\ n' \neq n}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}_1^\tau} X_{cnn'\tau} \\ + \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}_1^\tau} X_{cmm\tau}^{w-rc} + I_{cnt}^w, \quad \forall c \in \mathcal{C} \wedge n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T},$$

Em que  $I_{cnt=0}^w = h_{cn}^0$  para  $n \in \mathcal{N}$ . (15)

$$\sum_{c \in \mathcal{C}} I_{cnt}^w \cdot f_c \leq Q_{nt}^w, \quad \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T}. \quad (16)$$

$$I_{cnt}^w \leq h_{cn}^{w-max}, \quad \forall c \in \mathcal{C} \wedge n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T}. \quad (17)$$

Figura 12 – Balanceamento de fluxo das *commodities* preposicionadas no depósito  $n$ .



Fonte: Elaboração Própria.

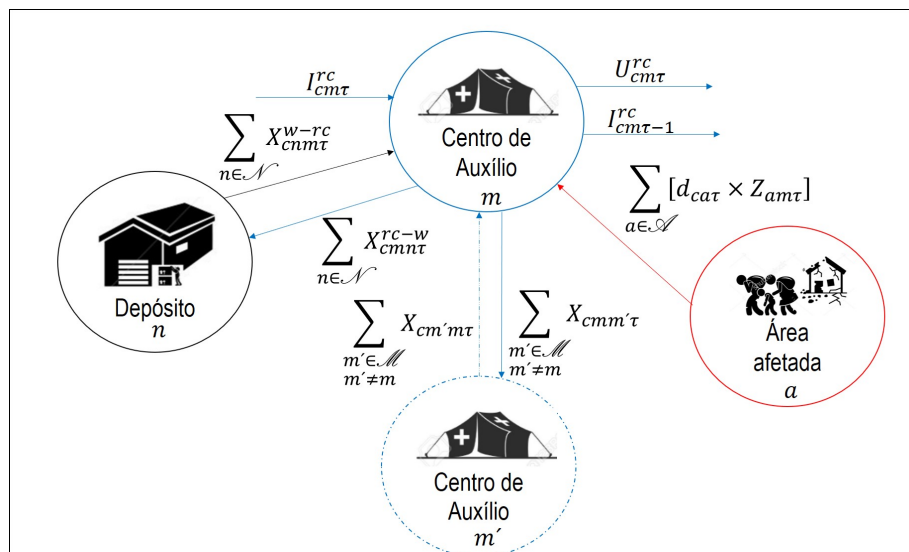
#### 4.4.2 Restrições associadas aos centros de auxílio

A restrição (18) força a conservação do fluxo de demanda para todas as *commodities*, centros de auxílio, e microperíodos, representado pela figura 13. A LHS consiste em: (i)

níveis de estoques; (ii) a quantidade de *commodities* que deixam o centro de auxílio para ir ao depósitos (fluxo reverso); (iii) a quantidade das *commodities* que se deslocam através dos centros de auxílio (fluxo de transferência); e (iv) a demanda global de afetados  $a$  que é satisfeita pelos centros de auxílio  $m$ . Note-se que esta parcela define quais são os centros de auxílios  $m$  que atenderão a demanda das áreas afetadas  $a$ . O RHS compreende (i) o estoque utilizável das *commodities*; (ii) a quantidade das *commodities* que vêm dos depósitos (fluxo direto); (iii) a quantidade das *commodities* provenientes de outros centros de auxílio (fluxo de transferência); (iv) a quantidade de *commodities* compradas. Sem perda de generalidade, assumamos que os estoques iniciais são zero, pois os centros de auxílio representam facilidades temporárias e adaptadas que têm funções sociais diferentes ao longo da aquisição.

$$\begin{aligned}
& I_{cm\tau}^{rc} + \sum_{n \in \mathcal{N}} X_{cmn\tau}^{rc-w} + \sum_{\substack{m' \in \mathcal{M} \\ m' \neq m}} X_{cmm'\tau} + \sum_{a \in \mathcal{A}} [d_{ca\tau} \cdot Z_{am\tau}] \\
& = I_{cm(\tau-1)}^{rc} + \sum_{n \in \mathcal{N}} X_{cnm\tau}^{w-rc} + \sum_{\substack{m' \in \mathcal{M} \\ m' \neq m}} X_{cm'm\tau} + U_{cm\tau}^{rc}, \\
& \text{Onde } I_{cm(\tau=0)}^{rc} = 0, \forall c \in \mathcal{C} \wedge m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \tag{18}
\end{aligned}$$



Figura 13 – Balanço de fluxo da demanda para todas as *commodities* nos centros de auxílio.


Fonte: Elaboração Própria.

A equação (19) mostra que o total das frações de demanda satisfeita a partir de centros de auxílio diferentes não excede o valor de 1. Observe que não é possível o atendimento maior do que as demandas existentes, porém, mais de um centro de auxílio pode atender uma mesma área afetada, com o intuito de atendê-la totalmente. A restrição (20) permite esse atendimento fracionário da quantidade demanda pelas áreas afetadas, pelos centros de auxílio.

$$\sum_{m \in \mathcal{M}} Z_{am\tau} \leq 1, \forall a \in \mathcal{A} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t \quad (19)$$

$$0 \leq Z_{am\tau} \leq 1, \forall a \in \mathcal{A} \wedge m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \quad (20)$$

A restrição (21) determina a capacidade dos centros de auxílio e garante que essa capacidade é respeitada pela demanda atendida pelo centro  $m$ . Se  $Q_{m\tau}^{rc} = 0$ , então necessariamente,  $Z_{am\tau} = 0$ , ou seja, o centro de auxílio  $m$  não pode atender a demanda da área afetada  $a$  no microperíodo  $\tau$ .

$$\sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{a \in \mathcal{A}} d_{ca\tau} \cdot Z_{am\tau} \cdot f_c \leq Q_{m\tau}^{rc}, \quad \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \quad (21)$$

As restrições (22) e (23) indicam a capacidade mínima de abertura dos centros de auxílio  $m$  e a capacidade máxima permitida para operar os centros de auxílio  $m$ , respectivamente.

$$Q_{m\tau}^{rc} \geq q_m^{rc-min} \cdot Y_{m\tau}^{rc}, \quad \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \quad (22)$$

$$Q_{m\tau}^{rc} \leq q_m^{rc-max} \cdot Y_{m\tau}^{rc-o}, \quad \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \quad (23)$$

A restrição (24) define o estado do centro de auxílio. Em um determinado microperíodo de tempo, um centro de auxílio tem um dos seguintes estados: (i) operando, se é aberto pela primeira vez no microperíodo  $\tau$  ou antes; ou (ii) não operando. Se  $Y_{m(\tau-1)}^{rc-o} = 0$  e  $Y_{m\tau}^{rc-o} = 1$ , então  $Y_{m\tau}^{rc} = 1$ , o que significa que o centro de auxílio foi, necessariamente, aberto em  $\tau$ , já que no microperíodo anterior  $\tau - 1$  não estava aberto. Nessa situação existem os custos de abertura e de operação em  $\tau$ . Por outro lado, se  $Y_{m(\tau-1)}^{rc-o} = 1$  e  $Y_{m\tau}^{rc-o} = 1$ , então  $Y_{m\tau}^{rc} = 0$ , ou seja, o centro de auxílio foi aberto no microperíodo anterior, então no microperíodo atual ( $\tau$ ) deverá ser pago apenas o custo de operação.

$$Y_{m\tau}^{rc} \geq Y_{m\tau}^{rc-o} - Y_{m\tau-1}^{rc-o}, \quad \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \quad (24)$$

O conjunto de restrições (25) obriga que todos os fluxos saindo ou entrando para os centros de auxílio sejam zero, a menos que esse centro de auxílio tenha sido aberto no microperíodo  $\tau$  atual ou anterior e esteja operando,  $Y_{m\tau}^{rc-o} = 1$ . Isso é válido para os quatro tipos de fluxo: (i) fluxos diretos dos depósitos; (ii) fluxos de retorno que saem dos centros de auxílio; (iii) fluxos de transferência, que saem dos centros de auxílio para outros; e (iv) fluxos de transferência, que chegam de outros centros. Além disso, os fluxos são limitados superiormente pelas capacidades dos centros de auxílio.

$$q_m^{rc-\max} \cdot Y_{m\tau}^{rc-o} \geq \begin{cases} \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{n \in \mathcal{N}} X_{cnm\tau}^{w-rc} \cdot f_c, \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \\ \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{n \in \mathcal{N}} X_{cmn\tau}^{rc-w} \cdot f_c, \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \\ \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{\substack{m' \in \mathcal{M} \\ m' \neq m}} X_{cmm'\tau} \cdot f_c, \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \\ \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{\substack{m' \in \mathcal{M} \\ m' \neq m}} X_{cm'm\tau} \cdot f_c, \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \end{cases} \quad (25)$$

As restrições (26) limitam superiormente os níveis de inventário. Respeitando a operação dos centros de auxílio, se  $Y_{m\tau}^{rc-o} = 0$ , então os níveis de estoque serão 0.

$$I_{cm\tau}^{rc} \leq h_{cm}^{rc-\max} \cdot Y_{m\tau}^{rc-o}, \forall c \in \mathcal{C} \wedge m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \quad (26)$$

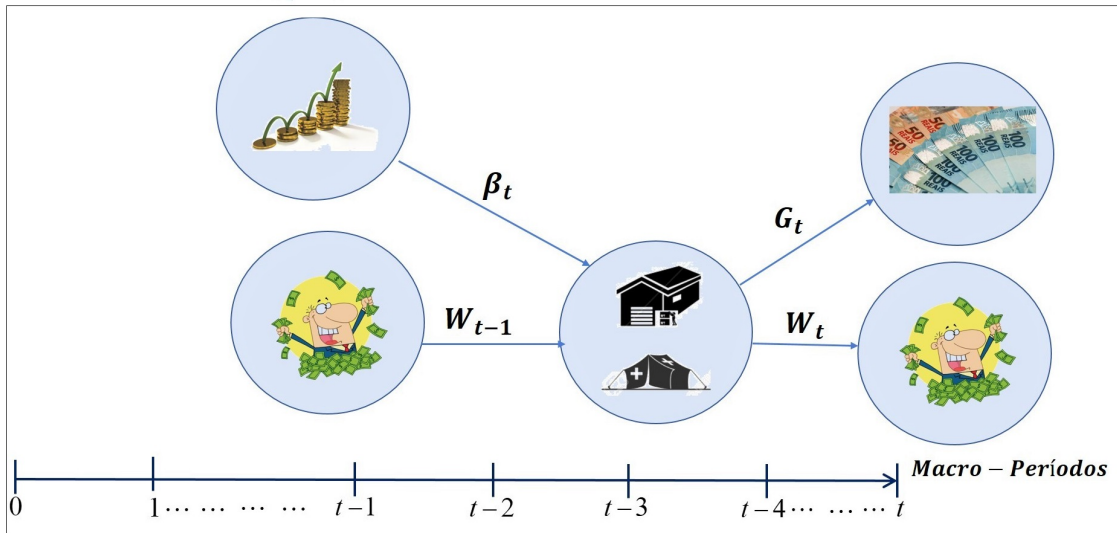
#### 4.4.3 Restrições orçamentais associada aos depósitos e centros de auxílio

$$\beta_t + W_{t-1} - W_t = G_t, \forall t \in \mathcal{T} \quad (27)$$

Nessa equação,  $G_t$  é custo logístico associado às operações humanitárias no macroperíodo do tempo  $t$ , como mostra a equação (28), e na Figura 14.

$$G_t = YC_t^{w-new} + YC_t^{w-o} + YC_t^{w-e} + YC_t^{w-u} + IC_t^w + PC_t + YC_t^{rc-new-o} + ZC_t + IC_t^{rc} + UC_t + XC_t \quad (28)$$

Figura 14 – Balanço do dinheiro empregado nas operações humanitária a longo prazo



Fonte: Elaboração Própria

#### 4.4.4 Definição dos custos associados aos depósitos

O próximo bloco de quatro equações determina os custos, como segue. O custo de abertura, operação para os novos depósitos, tal como se define na equação (29) e (30), proporcional à capacidade inicial do depósito e à capacidade com que opera o depósito. A equação (31) fornece o custo total de investimento para a expansão dos depósitos existentes. Finalmente, a equação (32) define o custo total de redução do tamanho dos depósitos.

$$YC_t^{w-new} = \sum_{n \in \mathcal{N}} \gamma_{nt}^{w-new} \cdot q_n^0 \cdot Y_{nt}^w \quad (29)$$

$$YC_t^{w-o} = \sum_{n \in \mathcal{N}} \gamma_{nt}^{w-o} \cdot Q_{nt}^w \quad (30)$$

$$YC_t^{w-e} = \sum_{n \in \mathcal{N}} \gamma_{nt}^{w-e} \cdot Q_{nt}^{w-e} \quad (31)$$

$$YC_t^{w-u} = \sum_{n \in \mathcal{N}} \gamma_{nt}^{w-u} \cdot Q_{nt}^{w-u} \quad (32)$$

A equação (33) representa os custos associados aos estoques dos depósitos, enquanto a restrição (34) está relacionada aos custos de aquisição de *commodities* nos depósitos.

$$IC_t^w = \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{n \in \mathcal{N}} \iota_{cnt}^w \cdot I_{cnt}^w. \quad (33)$$

$$PC_t = \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{n \in \mathcal{N}} \rho_{cnt} \cdot P_{cnt}. \quad (34)$$

#### 4.4.5 Definições dos custos associados aos centros de auxílio

A equação (35) representa os custos de estabelecimento e operação dos centros de auxílio que são proporcionais à capacidade do centro de auxílio.

$$YC_t^{rc-new-o} = \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^t} \gamma_{m\tau}^{rc-new-o} \cdot Q_{m\tau}^{rc}. \quad (35)$$

A equação (36) representa o custo de atendimento do centro de auxílio  $m$  à área afetada  $a$ .

$$ZC_t = \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^t} \zeta_{am\tau} \cdot Z_{am\tau}. \quad (36)$$

As equações (37), (38) representam, respectivamente, os custos de estoque e compra dos centros de auxílio.

$$IC_t^{rc} = \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^\tau} \iota_{cm\tau}^{rc} \cdot I_{cm\tau}^{rc}. \quad (37)$$

$$UC_t = \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^\tau} \mu_{cm\tau} \cdot U_{cm\tau}^{rc}. \quad (38)$$

A igualdade (39) representa os custos de transporte entre todos os tipos de nós, ou seja, de todos os fluxos: diretos, de transferência e reversos

$$\begin{aligned}
 \mathbf{XC}_t = & \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{n \in \mathcal{N}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^\tau} \chi_{cnm\tau} \cdot X_{cnm\tau}^{w-rc} + \\
 & + \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{n \in \mathcal{N}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^\tau} \chi_{cmn\tau} \cdot X_{cmn\tau}^{rc-rc} + \\
 & + \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{k \in \mathcal{N} \cup \mathcal{M}} \sum_{\substack{k' \in \mathcal{N} \cup \mathcal{M} \\ k' \neq k}} \sum_{\tau \in \mathcal{T}^\tau} \chi_{ckk'\tau} \cdot X_{ckk'\tau}. \tag{39}
 \end{aligned}$$

Não-negatividade das variáveis:

$$I_{cnt}^w \geq 0, \forall c \in \mathcal{C} \wedge n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T} \tag{40}$$

$$I_{cm\tau}^{rc} \geq 0, \forall c \in \mathcal{C} \wedge n \in \mathcal{N} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t \tag{41}$$

$$P_{cnt} \geq 0, \forall c \in \mathcal{C} \wedge n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T} \tag{42}$$

$$Q_{nt}^w \geq 0, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T} \tag{43}$$

$$Q_{nt}^{w-e} \geq 0, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T} \tag{44}$$

$$Q_{nt}^{w-u} \geq 0, \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T} \tag{45}$$

$$Q_{m\tau}^{rc} \geq 0, \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t \tag{46}$$

$$U_{cm\tau}^{rc} \geq 0, \forall c \in \mathcal{C} \wedge m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t \tag{47}$$

$$\begin{aligned}
 X_{cnm\tau}^{w-rc} & \geq 0, \\
 & \forall c \in \mathcal{C} \wedge n \in \mathcal{N} \wedge m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t \tag{48}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{cmn\tau}^{rc-w} & \geq 0, \\
 & \forall c \in \mathcal{C} \wedge n \in \mathcal{N} \wedge m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t \tag{49}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{ckk'\tau} & \geq 0, \\
 & \forall c \in \mathcal{C} \wedge n \in \mathcal{N} \wedge k \in (\mathcal{N} \cup \mathcal{M} - \{n\}) \wedge k \neq k' \wedge \tau \in \mathcal{T}^t \tag{50}
 \end{aligned}$$

$$Z_{am\tau} \geq 0, \forall a \in \mathcal{A} \wedge m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \tag{51}$$

Variáveis binárias :

$$Y_{nt}^w \in \{0, 1\} \quad \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T} \quad (52)$$

$$Y_{nt}^{w-e} \in \{0, 1\} \quad \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T} \quad (53)$$

$$Y_{nt}^{w-u} \in \{0, 1\} \quad \forall n \in \mathcal{N} \wedge t \in \mathcal{T} \quad (54)$$

$$Y_{m\tau}^{rc} \in \{0, 1\} \quad \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t \quad (55)$$

$$Y_{m\tau}^{rc-o} \in \{0, 1\} \quad \forall m \in \mathcal{M} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \quad (56)$$

A partir do desenvolvimento do modelo de maximização (1) - (56), definimos um problema “auxiliar” de minimização dos custos logísticos totais, cuja função objetivo pode ser usada para estimar o orçamento financeiro disponível em cada macroperíodo na ausência dessa informação. Nesse caso, a restrição (19) precisa ser satisfeita na igualdade (caso contrário, a função objetivo seria trivialmente zero).

Matematicamente, o problema de custo mínimo é escrito como:

#### 4.5 Modelo Auxiliar de Minimização dos custos

$$G^* = \min \sum_{t \in \mathcal{T}} G_t. \quad (57)$$

sujeito a: (2) – (18)e (20) – (56)

$$\sum_{m \in \mathcal{M}} Z_{am\tau} = 1, \quad \forall a \in \mathcal{A} \wedge \tau \in \mathcal{T}^t \quad (58)$$

## 5 COLETA DE DADOS E DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO

Essa seção descreve como foram gerados os dados de entrada do modelo de otimização. Os dados foram gerados da maneira mais realista possível, recorrendo-se a dados secundários sempre que disponíveis. Em especial, convém destacar que a demanda por ajuda emergencial foi estimada com base nos dados históricos do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres Naturais S2iD no período 2007 a 2016, que apresenta de maneira sistemática os desastres brasileiros do período em termos de localização, número de desalojados, desabrigados, vítimas fatais, dentre outras informações. Nesse período do tempo, aconteceram os desastres mais relevantes do Brasil em termos de prejuízos econômicos e de vítimas humanas, entre os quais se destacam o rompimento da barragem na região de Miraf no estado Minas Gerais (2007), o Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro (2011), e o rompimento da barragem na região de Mariana (MG) em 2015.

A Tabela 3 apresenta as características das instâncias em termos das principais entidades que compõem a cadeia humanitária estudada.

Tabela 3 – Características da instância.

Descrição	Cardinalidade	Número de alternativas
Número de <i>commodities</i>	$ \mathcal{C}  = 6$	1
Número de candidatos a depósitos	$ \mathcal{N}  = 17$	1
Número de candidatos a centros de auxílio	$ \mathcal{M}  = 50$	1
Número de áreas afetadas	$ \mathcal{A}  = 50$	1
Macroperíodo de tempo	$ \mathcal{T}  = 1$ ano,	1
Microperíodo de tempo	$ \mathcal{T}^\tau  = 12$ meses	1

Fonte. Elaboração Própria.



- Número de *commodities*: São considerados 6 produtos de assistência humanitária que são tipicamente adquiridos pelo Governo Brasileiro em situações de crises humanitárias (ATA, 2016): *kit* de água mineral, *kit* de cesta de alimentos, *kit* de colchão de solteiro, *kit* de dormitório, *kit* de higiene pessoal e *kit* de limpeza;
- Número de depósitos: São considerados 17 candidatos a depósitos, a serem instalados nas capitais dos estados cujo número de vítimas no período 2007-2016 representa mais de 1% do total d do Brasil. A Tabela 4 mostra as capitais e outras informações que foram levadas em consideração nessa análise;
- Número de centros de auxílio e áreas afetadas: Consideraram-se 50 candidatos a centros de auxílio e áreas afetadas adotando o pressuposto de que os centros de auxílio serão estabelecidos nas áreas afetadas. Assim, foram designados 5 municípios para aqueles estados que tinham de 13.02% até 15.51% de número de vítimas, 4 municípios entre 6.46% até 8.89%, 3 municípios entre a faixa de 4.10% até 4.64% e assim por diante foram designados os demais municípios.

A Tabela 4 mostra as informações das 17 capitais onde podem ser instalados os depósitos, o número de e a frequência relativa entre as 4.671.757 pessoas afetadas. Neste mesmo sentido, a Tabela ilustra as informações sobre os 50 municípios que foram designados com maior número de vítimas para instalação dos centros de auxílio e as áreas afetadas. Além disso, apresentam-se os dados de longitude e latitude dessas cidades.

Tabela 4 – Informações sobre as 17 capitais candidatas a depósitos e os 50 municípios candidatos a centros de auxílio e áreas afetadas.

Estado	Capital	Número vítimas Estaduais	% Relativo	Longitude	Latitude	Município designado	Longitude	Latitude
AM	Manaus	724.657	15.51%	-3.1	-60.02	Manaus	-3.1	-60.02
						Tefé	-3.35	-64.71
						Careiro da Várzea	-3.22	-59.82
						Lábrea	-7.25	-64.79
						Manacapuru	-3.3	-60.62
RS	Porto Alegre	629.292	13.47%	-30.03	-51.23	Montenegro	-29.68	-51.46
						Igrejinha	-29.57	-50.79
						Eldorado do Sul	-30.08	-51.61
						São Jerônimo	-29.95	-51.72
						Novo Hamburgo	-29.67	-51.13
SC	Florianópolis	608.316	13.02%	-27.59	-48.54	Blumenau	-26.91	-49.06
						Itajaí	-26.9	-48.66
						Joinville	-26.3	-48.84
						Rio do Sul	-27.21	-49.64
						São José	-27.61	-48.62
MG	Belo Horizonte	415.190	8.89%	-19.81	-43.95	Muriaé	-21.13	-42.36
						Governador Valadares	-18.85	-41.94
						Carangola	-20.73	-42.02
						Belo Horizonte	-19.81	-43.95
						São Gonçalo	-22.82	-43.05
RJ	Rio de Janeiro	376.442	8.06%	-22.9	-43.2	Campos dos Goytacazes	-21.75	-41.32
						Santo Antônio de Pádua	-21.53	-42.18
						Itaperuna	-21.2	-41.88
						Bacabal	-4.22	-44.78
						Trizidela do Vale	-4.53	-44.62
MA	São Luís	301.585	6.46%	-2.53	-44.3	Pedreiras	-4.56	-44.59
						Vitória do Mearim	-3.46	-44.87
						Pinhais	-25.44	-49.19
						União da Vitória	-26.23	-51.08
						São José dos Pinhais	-25.53	-49.2
BA	Salvador	216.285	4.63%	-12.97	-38.51	Simões Filho	-12.78	-38.4
						Nova Viçosa	-17.89	-39.37
						Valença	-22.24	-43.7
SP	São Paulo	202.371	4.33%	-23.54	-46.63	Itapevi	-23.54	-46.93
						Taboão da Serra	-23.6	-46.75
						Eldorado	-30.08	-51.61
ES	Vitória	191.544	4.10%	-20.31	-40.33	Vila Velha	-20.33	-40.29
						Cachoeiro de Itapemirim	-20.84	-41.11
						Barra de São Francisco	-18.75	-40.89
PE	Recife	137.725	2.95%	-8.05	-34.88	Barreiros	-8.81	-35.18
						Palmares	-8.68	-35.59
PA	Belém	130.020	2.78%	-1.45	-48.5	Marabá	-5.36	-49.11
						Altamira	-3.2	-52.2
CE	Fortaleza	128.331	2.75%	-3.71	-38.54	Amontada	-3.49	-39.57
						Morada Nova	-5.1	-38.37
PI	Teresina	121.973	2.61%	-5.08	-42.8	Teresina	-5.08	-42.8
						Barras	-4.24	-42.29
AC	Rio Branco	58.409	1.25%	-9.97	-67.81	Rio Branco	-9.97	-67.81
PB	João Pessoa	56.836	1.22%	-7.11	-34.86	João Pessoa	-7.11	-34.86
RN	Natal	46.552	1.00%	-5.79	-35.2	Mossoró	-5.18	-37.34
Total todos os estados 2007-2016							4.671.757	

Fonte. Elaboração Própria.

- Horizonte de tempo : Para a definição do horizonte de planejamento são utilizadas duas escalas de tempo, macro e microperíodos que representam os níveis de decisões estratégico e tático/operacional, respectivamente. Neste sentido, o horizonte de planejamento é de 1 ano com 12 microperíodos mensais.

## 5.1 Parâmetros do modelo de otimização

$\gamma_{nt}^{w-new}$ : **Custo de instalação dos depósitos.** O custo de instalação dos depósitos foi estimado com base no relatório do Custo Unitário Básico de construção de galpões (CUB, 2016), que é dado em reais por metro quadrado para cada estado do Brasil.

$\gamma_{nt}^{w-e}$ : **Custo de expansão dos depósitos.** O custo de expandir os depósitos foi assumido como a metade dos custos de instalação. A expansão possui menor custo, pois parte-se do pressuposto de que a estrutura básica do depósito já foi previamente instalada.

$\gamma_{nt}^{w-u}$ : **Custo de redução dos depósitos.** O custo de redução foi considerado metade do custo de expansão assumindo apenas que há gastos com o encerramento das atividades, desocupação da área, transporte de estoque remanescente e de equipamentos, por exemplo.

A Tabela 5 sintetiza os valores custos em  $\left(\frac{R\$}{m^2}\right)$  reais por metros quadrado de instalação, expansão e redução da capacidade dos depósitos.

Tabela 5 – Custos de instalação, expansão e redução dos 17 candidatos a depósitos.

Índice	Capital	Custo de instalação (R\$ / $m^2$ )	Custo de expansão (R\$ / $m^2$ )	Custo de redução (R\$ / $m^2$ )
1	Manaus	695	348	174
2	Porto Alegre	694	347	174
3	Florianópolis	741	371	185
4	Belo Horizonte	630	315	158
5	Rio de Janeiro	729	365	182
6	São Luís	606	303	152
7	Curitiba	712	356	178
8	Salvador	667	334	167
9	São Paulo	692	346	173
10	Vitória	696	348	174
11	Recife	654	327	164
12	Belém	639	320	160
13	Fortaleza	633	317	158
14	Teresina	612	306	153
15	Rio Branco	658	329	165
16	João Pessoa	544	272	136
17	Natal	623	312	156

Fonte. (CUB, 2016).

$\gamma_{mt}^{w-o}$ : **Custos de operação dos depósitos.** O custo de operação dos depósitos basicamente é composto pelo custo de mão-de-obra necessária para operar o depósito. Para tanto, neste trabalho, assume-se que é preciso um funcionário para cada  $250 m^2$  de depósito construído, o qual realizará atividades de carregamento e descarregamento de produtos, separação/triagem etc. E o funcionário receberá um salário mínimo de R\$937,00 mensal (UNIÃO, 2016). Esse custo de mão-de-obra depende do tamanho do macroperíodo e da capacidade os depósitos.

$\gamma_{m\tau}^{c-new-o}$ : **Custo de estabelecimento e operação dos centros de auxílio.** Os custos de estabelecer os centros de auxílio foram assumidos proporcionais aos seus tamanhos em  $m^2$ . Para cada  $m^2$ , tem-se um custo de R\$ 141,00 que foi obtido da literatura de logística humanitária (RAWLS; TURNQUIST, 2010). Esse custo é proporcional à capacidade do

centro de auxílio considerada em metros quadrados. Além disso, estimou-se um custo de estabelecimento para cobrir eventuais custos de operação, estimou-se que tal valor é igual ao 10% dos custos de estabelecimento do centro de auxílio. Assim o custo total de estabelecer e operar um centro de auxílio, é igual á R\$156,00 por metro quadrado.

$\chi_{kk'\tau}$  : **Custos de transportes.** Tais custos foram estimados com base no custo por  $km$  percorrido (LOGÍSTICA, 2017), como mostra a Tabela 6. Em seguida, estima-se a distância entre os nós  $k$  e  $k'$ , empregando a lei dos cossenos em uma esfera, que é equivalente à fórmula de *Haversine*, (FORMULA, 2018). Como se apresenta na equação (59) e é empregado no trabalho (BASTIAN *et al.*, 2016), de logística humanitária:

$$d = R \cdot \arccos(\sin(\phi_1) \cdot \sin(\phi_2) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \cos(\lambda_1 - \lambda_2)) \quad (59)$$

Essa formulação fornece a distância entre dois pontos de uma esfera a partir de suas latitudes  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  e longitudes  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , respectivamente. Além disso assume-se que o raio da terra é  $R = 6371$  km. As informações de distância se mostram nas Tabelas 30 até 34, no apêndice B. Uma vez que se conhecem as distâncias entre as cidades, foram calculados os custos de transporte entre os nós multiplicando o peso estimado (veja a Tabela 7) dos produtos emergenciais ( $P_c$ ) (kg/un), pelo correspondente custo por kg de cada produto ( $CP_{i,j}$ ) para cada percurso de distância  $(i, j)$  designado pela (LOGÍSTICA, 2017), que mostra o índice de carga lotação para transporte rodoviário. Finalmente esse custo pode ser estimado pela equação (60). Assim obtiveram-se os custos de transporte para produto emergencial  $c$ , esses custos variam de acordo com cada arco  $(k, k')$ . Logo, o custo total de transporte entre os nós  $k$  a  $k'$  pode ser calculado mediante a expressão (60) e se sumariza nas Tabela 35 a 39 no apêndice C.

Tabela 6 – Custos de Transporte rodoviário de carga.

Percurso	Distância (km)	$(CP_{i,j})$ . R\$/ton.	$(CP_{i,j})$ . R\$/kg
Muito curto	50	72.94	0.07
Curto	400	133.20	0.13
Médio	800	204.78	0.20
Longo	2400	475.28	0.48
Muito longo	6000	1072.01	1.07

Fonte. (LOGÍSTICA, 2017).

Tabela 7 – Peso estimado dos produtos emergenciais.

<i>Kits</i>	$P_c$ . (kg/un)
<i>Kit</i> Limpeza	6.4
<i>Kit</i> Higiene Pessoal	3.8
<i>Kit</i> Dormitório	3.4
<i>Kit</i> Colchão	10.9
<i>Kit</i> Cesta de Alimentos	26.6
<i>Kit</i> Água Mineral	5.0

Fonte. (LOGÍSTICA, 2017).

$$\chi_{cck'\tau} = \begin{cases} P_c \cdot CP_{0-50}, & \text{se } 0 \leq d(k,k') \leq 50, \forall c \in \mathcal{C} \wedge k \in (\mathcal{N} \cup \mathcal{M}) \wedge k \neq k' \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \\ P_c \cdot CP_{51-400}, & \text{se } 50 < d(k,k') \leq 400, \forall c \in \mathcal{C} \wedge k \in (\mathcal{N} \cup \mathcal{M}) \wedge k \neq k' \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \\ P_c \cdot CP_{401-800}, & \text{se } 400 < d(k,k') \leq 800, \forall c \in \mathcal{C} \wedge k \in (\mathcal{N} \cup \mathcal{M}) \wedge k \neq k' \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \\ P_c \cdot CP_{801-2400}, & \text{se } 800 < d(k,k') \leq 2400, \forall c \in \mathcal{C} \wedge k \in (\mathcal{N} \cup \mathcal{M}) \wedge k \neq k' \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \\ P_c \cdot CP_{2401-6000}, & \text{se } 2400 < d(k,k') \leq 6000, \forall c \in \mathcal{C} \wedge k \in (\mathcal{N} \cup \mathcal{M}) \wedge k \neq k' \wedge \tau \in \mathcal{T}^t. \end{cases} \quad (60)$$

$\rho_{cnt}$  : **Custo de posicionamento.** Os custos de posicionamento foram estimados como a divisão entre os custos unitários de aquisição (R\$) das *commodities* e a quantidade de unidades reservada de produto fornecida pela ata de preços. (ATA, 2016). Desse modo, o custo de posicionamento é a média da divisão para cada *commodity* em cada região do Brasil.

$\iota_{cnt}^w$  : **Custos de estoque para depósitos.** Os custos de estoque dos depósitos foram considerados como 25% do custo médio de posicionamento das *commodities*.

$l_{cm\tau}^{rc}$  : **Custos de estoques no centros de auxílio.** Os custos de estoque dos centros de auxílio foram assumidos 20% maiores do que os correspondentes custos de estoque dos depósitos, devido à falta de estrutura de armazenamento nos centros de auxílio.

$\mu_{cm\tau}$  : **Custo de compra ou aquisição.** Os custos de compra das *commodities* nas regiões dos centros de auxílio foram estimados com base nos custos de posicionamento, como 50% maior desses custos, devido à escassez de produtos e porque não raro, os comerciantes locais aumentam os preços para tirar vantagem da situação de vulnerabilidade das vítimas.

A Tabela 8 mostra os anteriores custos unitários de posicionamento, estoque e compra de *commodities* dos depósitos e centros de auxílio, respectivamente.

Tabela 8 – Custos unitários associados ao posicionamento, estoque e compra nos depósitos e centros de auxílio.

<i>Commodities</i>	Custo de posicionamento	Custo de estoque nos depósitos	Custo de estoque nos centros de aux.	Custo de aquisição
<i>Kit Limpeza</i>	R\$ 142	R\$ 35	R\$ 43	R\$ 213
<i>Kit Higiene Pessoal</i>	R\$ 190	R\$ 48	R\$ 57	R\$ 285
<i>Kit Dormitório</i>	R\$ 143	R\$ 36	R\$ 43	R\$ 214
<i>Kit Colchão</i>	R\$ 238	R\$ 59	R\$ 71	R\$ 357
<i>Kit Cesta de Alimentos</i>	R\$ 261	R\$ 65	R\$ 78	R\$ 391
<i>Kit Água Mineral</i>	R\$ 16	R\$ 4	R\$ 5	R\$ 24

Fonte. Adaptado do (ATA, 2016)

$\zeta_{am\tau}$  : **Custo de atendimento da área afetada.** Tal custo foi considerado como diretamente proporcional à distância entre o centro de auxílio e a área afetada além da cidade onde está localizado o centro de auxílio e multiplicado por um fator monetário  $\alpha$  (e.g., R\$1000), que está sujeito ao tomador de decisão. A ideia desse custo (penalidade) é promover a abertura de centros de auxílio o mais próximo possível das áreas afetadas, visando um melhor atendimento da demanda das pessoas afetadas. A expressão (61),

permite calcular o custo de atendimento:

$$\zeta_{amt} = \left( \frac{dist_{amt}}{dismed} \right) \cdot \alpha, \forall a \in \mathcal{A} \wedge m \in \mathcal{M} \wedge t \in \mathcal{T} \quad (61)$$

Onde,  $dist_{amt}$ , é a distância entre a cidade da área afetada  $a$ , e a cidade onde está localizado o centro de auxílio,  $m$ . Essas distâncias foram estimadas empregando a equação (59). A distância  $dismed$ , é a média entre todas as cidades afetadas e todas as cidades onde estão localizados os centros de auxílio.

$h_{cn}^0$  :**Estoque inicial**. Sem perda de generalidade, os estoques iniciais foram considerados nulos no início do horizonte de planejamento.

$h_{cn}^{w-\max}$  :**Estoque máximo de commodity em depósitos**. O estoque máximo das *commodities* nos depósitos é um número suficientemente grande.

$h_{cm}^{w-\max}$  : **Estoque máximo de commodity em centros de auxílio**. O estoque máximo das *commodities* será considerado um número suficientemente grande.

$f_c$  : **Fator de conversão de  $\left(\frac{m^2}{un}\right)$  para cada commodity  $c$** . O fator de conversão é estimado como a multiplicação entre a largura e o comprimento de cada *commodity*  $c$ , que corresponde à área ( $m^2$ ) de cada produto  $c$ . A Tabela 9 mostra os valores estimados para tal fator.

Tabela 9 – Fator de conversão de unidades de produto a metros quadrados.

<i>Commodities</i>	Largura (m)	Comp. (m)	Área ( $\frac{m^2}{un}$ )
Kit Limpeza	0.25	0.25	0.0625
Kit Higiene Pessoal	0.4	0.22	0.088
Kit Dormitório	0.5	0.35	0.175
Kit Colchão	1.8	0.8	1.44
Kit Cesta de Alimentos	0.37	0.24	0.0888
Kit Água Mineral	0.16	0.14	0.0224

Fonte. Elaboração Própria.



SoVI<sub>a</sub> : **Índice de Vulnerabilidade Social associado à área afetada a**: O SoVI é um índice que avalia quantitativamente as características que influenciam a vulnerabilidade social aos riscos (pré-acontecimentos) e facilita a comparação entre as cidades em termos dos seus níveis relativos de vulnerabilidade social. Esse dado abrange várias variáveis, tais como: *status* socioeconômico, gênero, cor e raça, idade, dependência em setores de emprego, rural/urbano, inquilinos, ocupação, estrutura familiar, educação, crescimento populacional, disponibilidade de serviços médicos, dependência social, população com necessidades especiais, qualidade do ambiente construído e migração etc. Nesse sentido, no recente estudo apresentado por (HUMMELL *et al.*, 2016) mostra-se o cálculo do SoVI para as cidades do território brasileiro. Posteriormente esses dados são transformados em valores positivos para que sejam padronizados. Assim, a Tabela 10 mostra o SoVI normalizado para os 50 municípios candidatos a áreas afetadas.

Tabela 10 – Índice de Vulnerabilidade Social para 50 municípios.

Índice	Estados	Município	SOVI	SOVI Transf	Índice	Estados	Município	SOVI	SOVI Transf
1	AM	Manaus	3.056	0.8487	26	MA	Pedreiras	2.936	0.8412
2	AM	Tefé	-1.077	0.4660	27	MA	Vitória do Mearim	3.525	0.8766
3	AM	Careiro da Várzea	6.272	1.0117	28	PR	Pinhais	3.166	0.8554
4	AM	Lábrea	3.740	0.8888	29	PR	União da Vitória	-0.890	0.4929
5	AM	Manacapuru	1.589	0.7474	30	PR	São José dos Pinhais	1.633	0.7509
6	RS	Montenegro	0.326	0.6362	31	BA	Simões Filho	4.405	0.9246
7	RS	Igrejinha	-0.364	0.5607	32	BA	Nova Viçosa	3.125	0.8529
8	RS	Eldorado do Sul	3.504	0.8754	33	BA	Valença	1.720	0.7575
9	RS	São Jerônimo	-0.116	0.5894	34	SP	Itapevi	3.085	0.8504
10	RS	Novo Hamburgo	-0.310	0.5672	35	SP	Taboão da Serra	16.438	1.3105
11	SC	Blumenau	-0.103	0.5908	36	SP	Eldorado	5.888	0.9952
12	SC	Itajaí	1.525	0.7424	37	ES	Vila Velha	1.976	0.7765
13	SC	Joinville	0.526	0.6558	38	ES	Cachoeiro de Itapemirim	-1.441	0.4082
14	SC	Rio do Sul	0.440	0.6475	39	ES	Barra de São Francisco	3.244	0.8600
15	SC	São José	3.923	0.8989	40	PE	Barreiros	0.553	0.6584
16	MG	Muriaé	-2.901	0.0414	41	PE	Palmares	0.302	0.6338
17	MG	Governador Valadares	-1.563	0.3871	42	PA	Marabá	4.848	0.9469
18	MG	Carangola	-1.304	0.4310	43	PA	Altamira	3.821	0.8933
19	MG	Belo Horizonte	7.123	1.0463	44	CE	Amontada	3.455	0.8725
20	RJ	São Gonçalo	-1.352	0.4231	45	CE	Morada Nova	4.275	0.9178
21	RJ	Campos dos Goytacazes	0.163	0.6196	46	PI	Teresina	4.083	0.9077
22	RJ	Santo Antônio de Pádua	0.302	0.6338	47	PI	Barras	1.238	0.7193
23	RJ	Itaperuna	-1.898	0.3230	48	AC	Rio Branco	1.606	0.7488
24	MA	Bacabal	2.839	0.8350	49	PB	João Pessoa	4.245	0.9162
25	MA	Trizidela do Vale	2.149	0.7889	50	RN	Mossoró	3.639	0.8831

Fonte. (HUMMELL *et al.*, 2016).

$\beta_t$  : **Orçamento financeiro disponível no macroperíodo.** O orçamento financeiro é a quantidade de dinheiro disponível para que as entidades governamentais invistam no planejamento da rede humanitária de suprimentos proposta. Esse parâmetro é estimado com base no custo logístico total da rede dado pela minimização dos custos.

$d_{ca\tau}$  : **Demanda da commodity  $c$  para a área afetada  $a$  no microperíodo  $\tau$ .** Para estimar a demanda de pessoas afetadas foram utilizados dados extraídos da base de dados de desastres naturais do Brasil, denominado, Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

- S2ID. (SEDC-CEPED/UFSC, 2018). Esta ferramenta fornece uma série histórica dos desastres do país, a partir do ano 2003, e caracteriza tais informações por estado, município onde aconteceu o evento e os danos humanos. Basicamente, as dos desastres podem ser classificadas como:

- Mortos: Pessoas que perderam suas vidas;
- Feridos: Pessoas que sofreram lesões e necessitam de intervenção médico-hospitalar, materiais e insumos de saúde (medicamentos, médicos, etc.);
- Enfermos: Pessoas que desenvolveram processos patológicos;
- Desabrigados: Pessoas que não foram localizadas pelas instituições públicas;
- Desalojados: Pessoas que deixaram seus domicílios, mas não necessitam de abrigo público;
- Outros afetados: São aquelas pessoas que não se encaixam em nenhum dos afetados e também necessitam de auxílio do poder público.

Nesse sentido, para estimar a demanda dos *kits* emergenciais para o microperíodo de tempo se realizaram as seguintes estimativas:

- **Número de pessoas desabrigadas e desalojadas:** Calculou-se a média mensal de pessoas desabrigadas e desalojadas, que representa o número de vítimas no período dos últimos 10 anos (2007-2016), considerando os 11 tipos de desastres mais representativos para cada um dos estados brasileiros; esta informação se apresenta na Tabela 24, do apêndice A, que contém a informação para cada conjunto de dados.
- **Abrangência dos *kits*:** A abrangência dos produtos emergenciais é um fator de conversão que representa o número de pessoas atendidas por cada unidade (*kit*) de produto emergencial, como se apresenta na Tabela 11.

Finalmente, a demanda de *kits* emergenciais é calculada multiplicando-se o número médio de vítimas pela fração de produto necessária para atender uma pessoa e se apresenta nas Tabelas 25 a 29 do apêndice A.

Tabela 11 – Abrangência de atendimento dos produtos.

<i>Commodities</i>	Abrangência dos <i>kits</i>		
	Número de pessoas auxiliadas por <i>kit</i>	Fração dos <i>kits</i> por pessoa	Duração (dias)
Kit Limpeza	4	0.25	30
Kit Higiene Pessoal	4	0.25	30
Kit Dormitório	1	1.00	Indefinido
Kit Colchão	1	1.00	Indefinido
Kit Cesta de Alimentos	4	0.25	30
Kit Água Mineral	1	1.00	1

Fonte. (ATA, 2016).

$q_n^0$ : **Capacidade inicial depósitos.** Para designar a capacidade inicial do depósito  $n$ , estimou-se a demanda do produto emergencial em  $m^2$  para cada região no primeiro macroperíodo. Então, esse valor obtido é dividido proporcionalmente pelo número de cidades que cada região contém e são acrescentados 30%. Essas informações dos valores das capacidades apresentam-se na Tabela 12.

$q_n^{max-w}$ : **Capacidade máxima expansão dos depósitos.** Esse valor será considerado igual à capacidade inicial dos depósitos, definindo um limite superior de expansão para cada macroperíodo de tempo.

Tabela 12 – Valores de capacidade inicial e máxima de expansão do depósito  $n$  para instância 1 ano e 12 meses.

Região	Estado	Capital	Capacidade Inicial e Máxima do Depósito $n$ $m^2$
Norte 1	AM	Manaus	19.150
	AC	Rio Branco	19.150
Norte 2	MA	São Luís	8.514
	PA	Belém	8.514
Nordeste 1	BA	Salvador	23.741
	PE	Recife	7.507
Nordeste2	CE	Fortaleza	7.507
	PB	João Pessoa	7.507
	RN	Natal	7.507
	PI	Teresina	7.507
Sul	RS	Porto Alegre	26.061
	SC	Florianópolis	26.061
	PR	Curitiba	26.061
Sudeste	MG	Belo Horizonte	21.949
	RJ	Rio de Janeiro	21.949
	SP	São Paulo	21.949
	ES	Vitória	21.949

Fonte. Elaboração Própria

$q_m^{max-rc}$  : **Capacidade máxima dos centros de auxílio.** A capacidade máxima de cada centro de auxílio foi estimada como o valor máximo da demanda em metros quadrados de cada município afetado, os dados da capacidade máxima se apresentam na Tabela 14.

$p_{nt}^{min}$  : **Preposicionamento mínimo.** O preposicionamento mínimo será considerado de (1) um.

$p_c^{mx}$  : **Preposicionamento máximo.** A quantidade máxima de preposicionamento

de cada *commodity*  $c$  é igual à soma total das quantidades reservadas na ata de preço para cada região, como se apresenta na seguinte Tabela 13.

Tabela 13 – Quantidade máxima de preposicionamento de cada *kit* emergencial.

<i>Commodity</i>	Preposicionamento máximo em unidades
Água Mineral	19.691.500
Cesta de Alimentos	188.140
Colchão de Solteiro	752.560
<i>Kit</i> Dormitório	752.560
<i>Kit</i> Higiene Pessoal	188.140
<i>Kit</i> de Limpeza	188.140

Fonte: (ATA, 2016).

Tabela 14 – Capacidades máximas dos centros de auxílio. Instância 1 ano e 12 meses.

Índice	Estados	Município	Capacidade Máxima		Índice	Estados	Município	Capacidade Máxima	
			Centro de Auxílio (m2)					Centro de Auxílio (m2)	
1	AM	Manaus	19.666		26	MA	Pedreiras	7.255	
2	AM	Tefé	21.493		27	MA	Vitória do Mearim	17.525	
3	AM	Careiro da Várzea	13.509		28	PR	Pinhais	23.665	
4	AM	Lábrea	13.032		29	PR	União da Vitória	21.452	
5	AM	Manacapuru	15.381		30	PR	São José dos Pinhais	4.411	
6	RS	Montenegro	14.664		31	BA	Simões Filho	42.425	
7	RS	Igrejinha	28.346		32	BA	Nova Viçosa	22.157	
8	RS	Eldorado do Sul	5.287		33	BA	Valença	16.737	
9	RS	São Jerônimo	7.825		34	SP	Itapevi	42.425	
10	RS	Novo Hamburgo	10.842		35	SP	Taboão da Serra	4.073	
11	SC	Blumenau	87.641		36	SP	Eldorado	14.440	
12	SC	Itajaí	43.292		37	ES	Vila Velha	26.105	
13	SC	Joinville	21.584		38	ES	Cachoeiro de Itapemirim	12.977	
14	SC	Rio do Sul	16.349		39	ES	Barra de São Francisco	8.679	
15	SC	São José	9.751		40	PE	Barreiros	25.150	
16	MG	Muriaé	21.321		41	PE	Palmares	15.334	
17	MG	Governador Valadares	25.177		42	PA	Marabá	3.672	
18	MG	Carangola	6.994		43	PA	Altamira	6.087	
19	MG	Belo Horizonte	7.579		44	CE	Amontada	7.033	
20	RJ	São Gonçalo	103.923		45	CE	Morada Nova	5.682	
21	RJ	Campos dos Goytacazes	15.335		46	PI	Teresina	13.624	
22	RJ	Santo Antônio de Pádua	11.784		47	PI	Barras	18.104	
23	RJ	Itaperuna	10.391		48	AC	Rio Branco	13.064	
24	MA	Bacabal	13.557		49	PB	João Pessoa	37.632	
25	MA	Trizidela do Vale	10.142		50	RN	Mossoró	11.434	

Fonte. Elaboração Própria.

$q_m^{rc-min}$  : **Capacidade mínima dos centros de auxílio.** A capacidade mínima dos centros de auxílio será considerada 10% da capacidade máxima estimada para cada centro de auxílio  $m$ .

## 6 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Este capítulo apresenta e discute os experimentos computacionais que foram executados para avaliar o desempenho do modelo matemático proposto para os desastres brasileiros mais recorrentes no período 2007-2016. A ideia é de que as soluções do modelo de otimização possam servir como base para repensar algumas estratégias ou políticas de gerenciamento dos atuais eventos. O modelo foi codificado na linguagem algébrica de modelagem GAMS 24.1.3 e resolvido pelo *solver* CPLEX 12.5.1 em um computador com 32 GB de memória RAM, processador Intel Xeon E5-1650 e sistema operacional *Windows* 7. Todos os testes foram resolvidos até a obtenção do certificado de otimalidade, a menos que se indique o contrário.

Mais especificamente, pretende-se avaliar os seguintes aspectos da proposta de modelagem: (i) configuração logística da rede de suprimentos humanitária em relação aos depósitos e centros de auxílio, assim como suas características em termos de capacidade e operação ao longo do horizonte de planejamento de um ano; (ii) dinâmica de transporte dos produtos emergenciais ao longo do território nacional para o atendimento das vítimas; (iii) impacto do orçamento no atendimento das vítimas e o papel do SoVI no nível de serviço emergencial; (iv) vantagens da estratégia híbrida de atendimento das vítimas que combina preposicionamento e aquisição, em contrapartida a estratégias ditas “puras” definidas na Seção 4.2.

As análises associadas aos itens (i), (ii) e (iii) foram realizadas com base no modelo de maximização com os parâmetros *default*. O item (iv) baseia-se no modelo de minimização. Vale ressaltar que o orçamento financeiro  $\beta_t$  foi estimado com base no custo mínimo obtido pelo problema de minimização associado, conforme discutido ao final da Seção 4.5. Em adição, foram explorados outros valores para o orçamento no teste relacionado ao item (iii). Nesse caso, o orçamento ótimo  $G^*$  foi reduzido em 20%, 40%, 60%, 80% e 90%.

## 6.1 Resultados do modelo base e análises

A solução do modelo base com os parâmetros *default* resultou na abertura de 4 depósitos localizados em Belo Horizonte (Região Sudeste), São Luís (Região Norte 2), Teresina (Região Nordeste 2) e João Pessoa (Região Nordeste 2). Vale ressaltar que a distribuição percentual de número de pessoas desalojadas e desabrigadas nas regiões brasileiras é: 31% (Região Sul), 25% (Região Sudeste), 17% (Região Norte 1), 11% (Região Nordeste 2), 9% (Região Norte 2), 5% (Região Nordeste 1) e 1% (Região Centro-Oeste). Note que não necessariamente os depósitos foram estabelecidos em locais que concentraram o maior número de vítimas historicamente, uma vez que as Regiões Sul e Norte 1 não foram selecionadas. Esse resultado indica uma aparente centralização da estratégia de posicionamento a ser gerenciada pela Defesa Civil, como consequência do elevado custo de estabelecimento dos depósitos para um horizonte de um ano.

A partir dos produtos emergenciais posicionados nos 4 depósitos, seria possível abastecer 45% do total das necessidades das vítimas em caso de desastres. Além disso, é importante salientar que a localização de tais depósitos difere da proposta do Governo Brasileiro de estabelecer depósitos estratégicos em cada uma das quatro regiões Brasileiras, a saber, Recife (Região Nordeste 2), Manaus (Região Norte 1), Porto Alegre (Região Sul), Rio de Janeiro (Região Sudeste) e Brasília (Região Centro-Oeste). Os resultados também mostram que não há expansão/redução dos depósitos, pois tais estratégias se referem a decisões de longo prazo, isto é, só podem ser tomadas nos macroperíodos. Nesse exemplo, tem-se apenas um macroperíodo de um ano. Por essa razão, a capacidade dos depósitos instalados é utilizada no limite, como ilustra a Tabela 15. Apenas o depósito de São Luís apresenta uma capacidade ociosa de 12%, mesmo atendendo 5 centros de auxílio.

Ao passo que os depósitos são necessários para executar o posicionamento dos produtos emergenciais no pré-desastre, os centros de auxílio servem como pontos de distribuição desses produtos para as áreas afetadas no pós-desastre. Todas as áreas afetadas que serão atendidas pela assistência humanitária devem, necessariamente, ser alocadas a um centro de auxílio estabelecido após a ocorrência do desastre. Nos centros de auxílio podem ser realizadas as decisões de aquisição dos produtos emergenciais como estratégia



Tabela 15 – Dinâmica da abertura, planejamento e utilização da capacidade nos depósitos.

Depósitos Instalados	Capacidade dos depósitos ( $m^2$ )	% Utilização da Capacidade dos depósitos	Número centros de auxílio atendidos	% Quantidade dos centros de auxílio atendido pelos depósitos
Belo Horizonte	21.949	100%	2	22%
São Luís	8.514	88%	5	56%
Teresina	7.507	100%	1	11%
João Pessoa	7.507	100%	1	11%

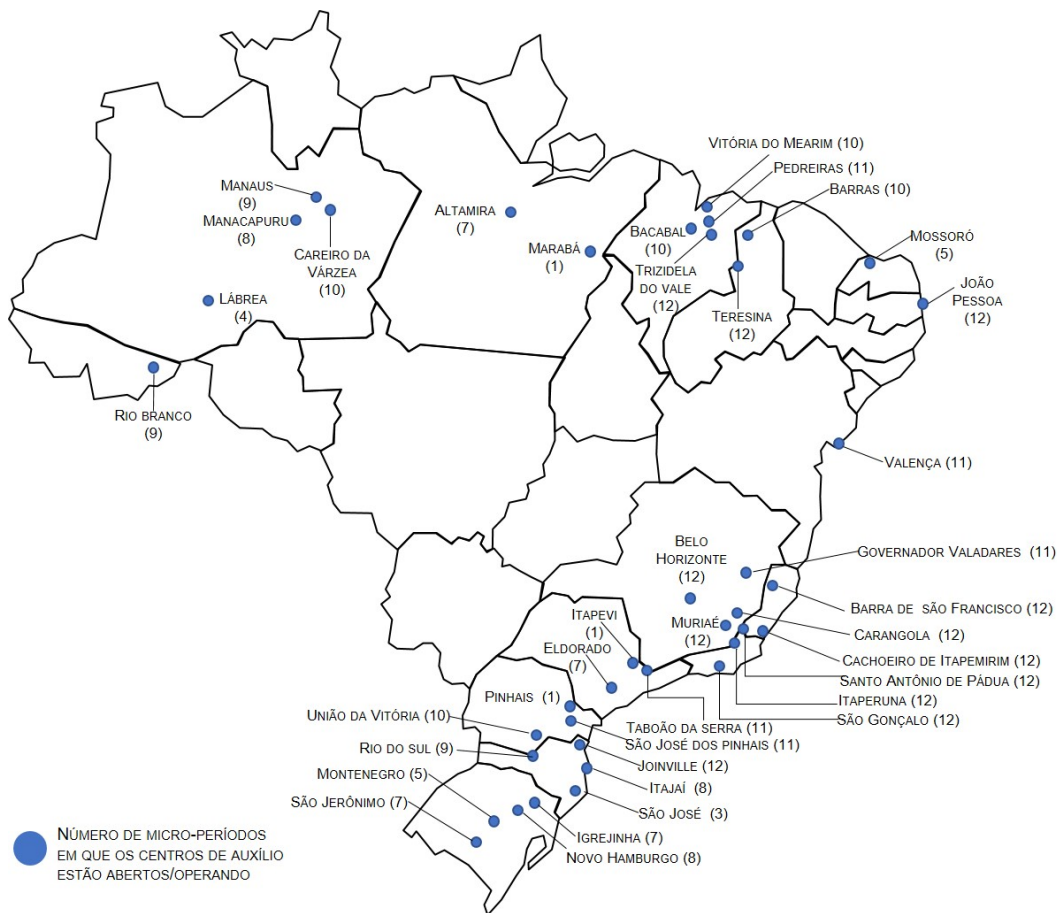
Fonte. Elaboração Própria.

logística para atender/complementar a assistência não coberta pelo preposicionamento. Neste sentido, foram estabelecidos 39 de 50 possíveis centros de auxílio, os quais estão suficientemente distribuídos pelo território nacional na tentativa de abranger todas as áreas afetadas e, simultaneamente, ter uma fase de resposta mais efetiva. De fato, quanto mais centros de auxílio mais próximos às áreas afetadas são estabelecidos, menor é a distância total (e o tempo) que as vítimas precisam percorrer (e/ou esperar) para adquirir assistência humanitária. Nesse caso, embora o custo de atendimento, que é proporcional à distância percorrida pelas vítimas (veja equação 61), tenda a diminuir, o custo de estabelecimento dos centros de auxílio aumenta.

A Figura 15 ilustra a distribuição espacial desses centros de auxílio ao longo do território brasileiro e a Tabela 16 apresenta os detalhes da dinâmica de abertura/operação dos centros de auxílio ao longo dos 12 micropéridos. A localização (abertura) dos centros de auxílio concentra-se, basicamente, nas regiões Sul e Sudeste do país, o que é decorrente da representatividade dessas regiões no número total de vítimas de desastres no período considerado e também devido aos altos índices de vulnerabilidade social de algumas de suas cidades. De fato, cerca de 57% do número total de vítimas entre 2007 e 2016 pertence à Região Sul (31%) e Sudeste (25%). Em relação à distribuição espacial do SoVI, note que embora as Regiões Norte 1 e Nordeste 1 tenham uma vulnerabilidade social *media* maior, os estados de São Paulo e Minas Gerais na Região Sudeste concentram as cidades com os altos níveis do SoVI, a saber, Taboão da Serra (SoVI = 16.44) e Belo Horizonte (SoVI = 7.123). Em particular, como o estado de Minas Gerais sofreu diversos tipos de desastres socioambientais no período em estudo, não é surpresa que dos quatro centros de

auxílio estabelecidos, o de Belo Horizonte permanece em operação todos os 12 microperíodos do ano. Similarmente, foram abertos 12 microperíodos no município de Teresina (Região Nordeste 2) porque essa cidade tem sido ameaçada por inundações, alagamentos e deslizamentos, o que provocou 17.051 vítimas entre desalojados e desabrigados no período 2007-2016. Além disso, os centros de auxílio estabelecidos em Teresina também atendem as áreas afetadas do estado vizinho (Maranhão).

Figura 15 – Espacialidade dos centros de auxílio no território brasileiro



Fonte: Elaboração Própria

Tabela 16 – Dinâmica de abertura e operação dos centros de auxílio ao longo dos microperíodos.

Localidade do centro de auxílio	microperíodos (meses)												número total de microperíodos
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Manaus				⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	9
Careiro da Várzea		⊙		⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	10
Lábrea		⊙	⊗	⊗								⊙	4
Manacapuru			⊙			⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	8
Montenegro								⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	5
Igrejinha				⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗			7
São Jerônimo					⊙		⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	7
Novo Hamburgo				⊙	⊗	⊗	⊗		⊙	⊗	⊗	⊗	8
Itajaí			⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗			8
Joinville	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Rio do Sul				⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	9
São José			⊙	⊗	⊗								3
Muriae	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Governador Valadares	⊙	⊗		⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	11
Carangola	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Belo Horizonte	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
São Gonçalo	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Santo Antônio de Pádua	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Itaperuna	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Bacabal	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗			⊙	⊗	⊗	⊗	10
Trizidela do Vale	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Pedreiras		⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	11
Vitória do Mearim			⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	10
Pinhais												⊙	1
União da Vitória		⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		10
São José dos Pinhais	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		11
Valença	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Itapevi	⊙												1
Taboão da Serra		⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	11
Eldorado						⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	7
Cachoeiro de Itapemirim	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Barra de São Francisco	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Marabá												⊙	1
Altamira	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗						7
Teresina	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Barras			⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	10
Rio Branco				⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	9
João Pessoa	⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	12
Mossoró								⊙	⊗	⊗	⊗	⊗	5

Nota: O símbolo ⊙ refere-se a abertura do centro de auxílio e o símbolo ⊗ indica que o centro de auxílio esta em operação. Fonte. Elaboração Própria.

A Tabela 17 sumariza os resultados relacionados ao tipo de estratégia que foi utilizada para satisfazer as necessidades das vítimas. Embora o custo unitário de compra de todos os produtos emergenciais seja mais elevado do que o custo unitário de posicionamento, em média, 44,86% dos produtos são posicionados e 55,14% são adquiridos nos centros de auxílio, indicando que a estratégia híbrida é mais eficiente. Isso acontece porque o posicionamento, que é uma estratégia tipicamente de pré-desastre, implica em elevados custos de abertura/operação dos depósitos onde os produtos são estocados e gerenciados até a ocorrência de um desastre e, além disso, em custos de transporte dos depósitos até os centros de auxílio. A aquisição de produtos emergenciais no pós-desastre, por outro lado, leva em consideração apenas o custo de compra do produto e a sua disponibilidade. Note que, por exemplo, a demanda por colchões de solteiro é totalmente satisfeita via compra. De fato, uma vez que esse produto ocupa a maior área por metro quadrado ( $1.44 \text{ m}^2/\text{unidade}$ ), posicioná-lo implicaria na necessidade de estabelecer mais (e/ou maiores) depósitos, o que poderia aumentar o custo total substancialmente. A Seção 6.3 apresenta uma discussão mais detalhada a respeito dos *trade-offs* entre posicionamento e compra.

Tabela 17 – Quantidade de produtos emergenciais posicionados nos depósitos e/ou comprados nos centros de auxílio.

Demanda Total	Quantidade da commodity posicionada	% Quantidade da commodity posicionada	Quantidade das commodities compradas	% Quantidade das commodities compradas
Água Mineral	839.435	0	839.435	100%
Cesta de Alimentos	209.868	188.140	21.728	10.35%
Colchão de Solteiro	839.435	0	839.435	100%
Kit Dormitório	839.435	1.852	837.584	99.78%
Kit Higiene Pessoal	209.868	188.140	21.728	10.35%
Kit Limpeza	209.868	188.140	21.728	10.35%
Total	3.147.909	566.272	2.581.638	55,14%

Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 18 representa as quantidades de cada produto emergencial distribuídas pelos 4 depósitos instalados (Belo Horizonte, São Luís, Teresina e João Pessoa) até os centros de auxílio. Neste sentido, veja que o depósito de Belo Horizonte centraliza o fluxo de produtos, pois administra 48% das quantidades totais dos produtos que serão transportados até os centros de auxílio. Por sua vez, esse depósito concentra o maior fluxo de produtos para atender os centros de auxílio localizado em Belo Horizonte e Carangola. Outras informações respeito a distribuição dos fluxos entre depósitos e centros de auxílio

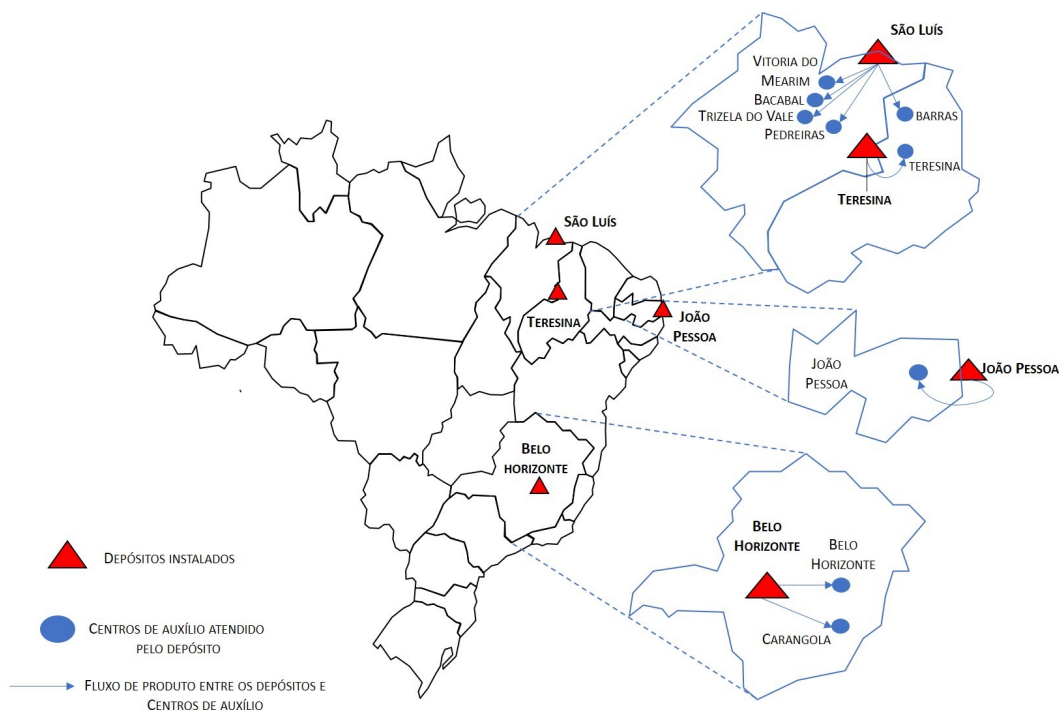
se resumizam na Figura 16 que ilustra a distribuição espacial dos depósitos instalados e suas respectivas dinâmicas dos fluxos.

Tabela 18 – Quantidade do fluxo distribuído dos depósitos aos centros de auxílio.

Depósitos	Centros de Auxílio	Kit Água Mineral	Kit Cesta de Alimentos	Kit Colchão	Kit Dormitório	Kit Higiene Pessoal	Kit Limpeza	Unidades totais	% Unidades distribuídas pelos depósitos
Belo Horizonte	Carangola	0	972	0	0	0	0	972	48%
	Belo Horizonte	0	92.359	0	1.852	93.331	81.032	268.574	
São Luís	Bacabal	0	11.985	0	0	15.979	15.979	43.942	19%
	Barras	0	3.011	0	0	8.205	8.205	19.420	
	Pedreiras	0	3.178	0	0	5.315	5.315	13.809	
	Trizidela do Vale	0	4.632	0	0	7.620	7.620	19.872	
	Vitória do Mearim	0	466	0	0	5.552	5.552	11.570	
Teresina	Teresina	0	43.486	0	0	24.086	24.086	91.658	16%
João Pessoa	João Pessoa	0	28.052	0	0	28.052	40.351	96.454	17%
Total		R\$ 0	R\$ 188.140	R\$ 0	R\$ 1.852	R\$ 188.140	R\$ 188.140	R\$ 566.272	100%

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 16 – Dinâmica dos fluxos relacionados aos depósitos.



Fonte: Elaboração Própria.

As Figuras 17 e 18 ilustram como as várias atividades logísticas (preposicionamento, compra e distribuição) se relacionam para o atendimento das necessidades das vítimas no pós-desastre. O exemplo se refere a uma parte da solução ótima associada ao depósito localizado em Belo Horizonte. Nesse depósito, são preposicionadas 268.574 unidades e todas elas são enviadas para o centro de auxílio da mesma cidade, onde são adquiridas outras 158.935 unidades de produtos emergenciais, totalizando 427.509 itens. Desse total, cerca de 47% (200.985) são utilizados para cobrir a demanda de 15 áreas afetadas, como Lábrea, Montenegro, entre outras. Os 53% dos itens emergenciais remanescentes (226.524) são distribuídos entre 9 centros de auxílio, e.g., Barra de São Francisco e Carangola. Esses centros de auxílio, por sua vez, são responsáveis pelo atendimento de muitas outras áreas afetadas. Por exemplo, Barra de São Francisco satisfaz (parcialmente) a demanda de Governador Valadares, Nova Viçosa e a sua própria. São Gonçalo ajuda a atender as necessidades de 12 áreas afetadas, e assim por diante.

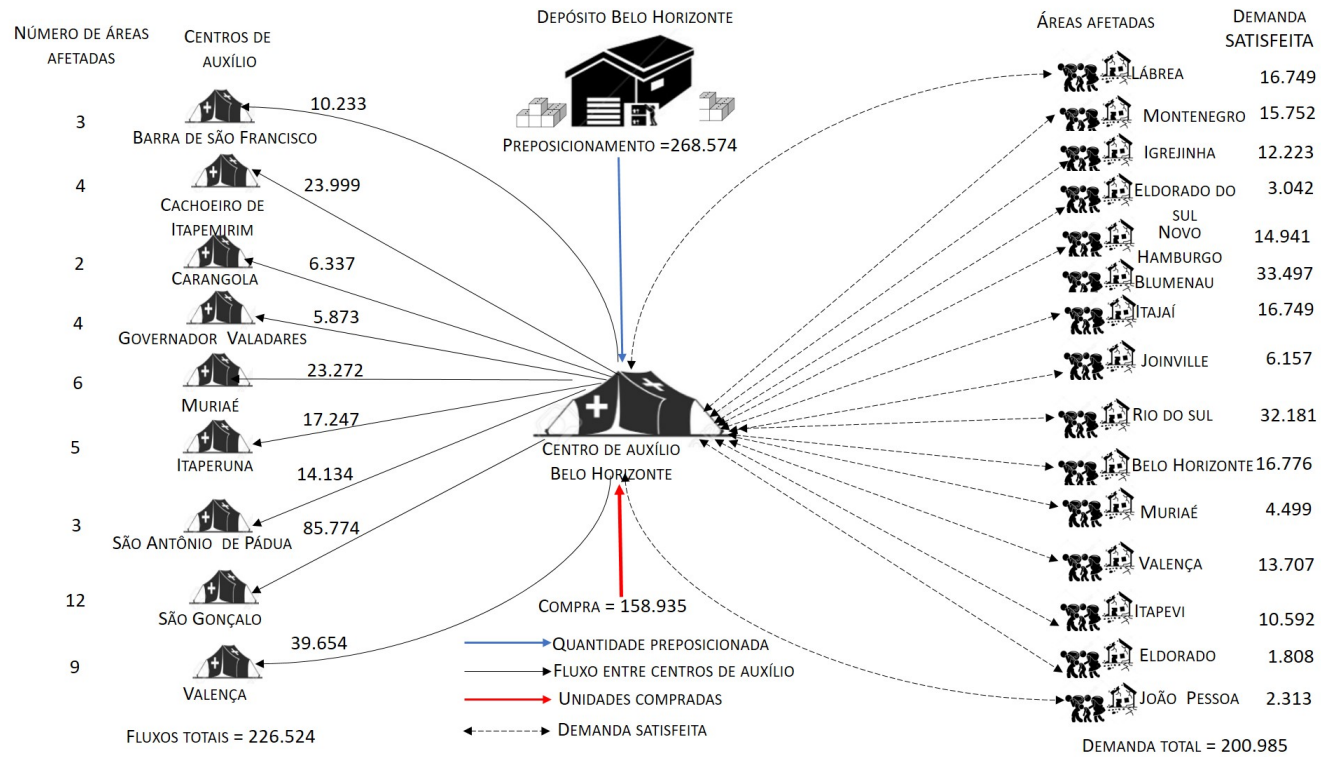
Nessa linha, é importante salientar que o centro de auxílio localizado em Belo Horizonte consegue satisfazer tantas áreas afetadas pois o mesmo permanece aberto/operando ao longo de todo o ano. Embora os fluxos que provêm do centro de auxílio de Belo Horizonte sirvam para atender outros centros de auxílio, nota-se que 972 unidades preposicionadas no depósito de Belo Horizonte são enviadas para o centro de auxílio em Carangola, que satisfaz outras áreas afetadas, totalizando um atendimento de 120.562 unidades de produtos emergenciais. Essa demanda é satisfeita a partir dos produtos que chegam ao centro de auxílio e com a aquisição de 29.623 unidades adicionais de itens.

Observa-se que há uma relação diretamente proporcional entre o número de áreas afetadas atendidas e a correspondente demanda. Por exemplo, o centro de auxílio localizado em São Gonçalo recebe 85.774 unidades do centro de auxílio de Belo Horizonte e compra adicionais 359.529 unidades para suprir uma demanda de 445.503 unidades de produtos emergenciais distribuídas em 12 áreas afetadas. Nessa mesma direção, o centro de auxílio de Valença satisfaz 9 áreas afetadas a partir dos itens que provêm do centro de auxílio de Belo Horizonte e da compra de 210.583 unidades. Por último, vê-se que por se tratar de um modelo determinístico, ou seja, a demanda é predeterminada pelos dados fornecidos ao modelo, não há ativação dos fluxos reversos ( centros de auxílio- depósitos) que são

considerados na abordagem matemática, já que não faz sentido distribuir os produtos às localidades próximas às áreas afetadas e depois retorná-los.

Logo, um recurso utilizado pelos modelos matemáticos de minimização (4.5) e maximização (1) foi o fluxo entre os centros de auxílio, que pode economizar os custos, fazendo uma primeira distribuição ao depósito-centro de auxílio, seguido do encerramento das atividades do depósito no período seguinte, e então a redistribuição dos produtos a partir de um centro de auxílio para os outros. Isso reduz os custos de estoque nos centros de auxílio, custos fixos de abertura e operação em depósitos, que se tratando das dimensões dessas facilidades, podem ter grande impacto nos custos finais da rede de suprimentos humanitária.

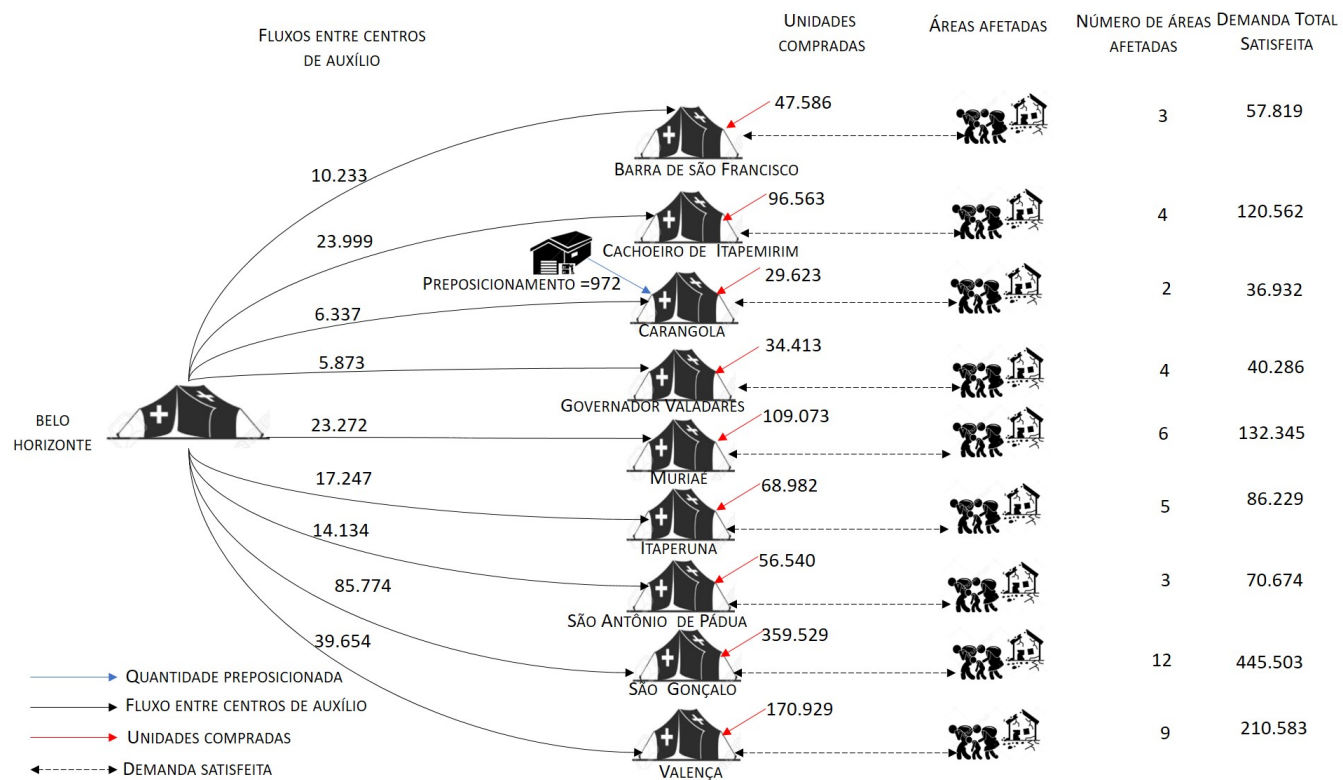
Figura 17 – Mapeamento da rede para o depósito de Belo Horizonte.



Fonte: Elaboração Própria.



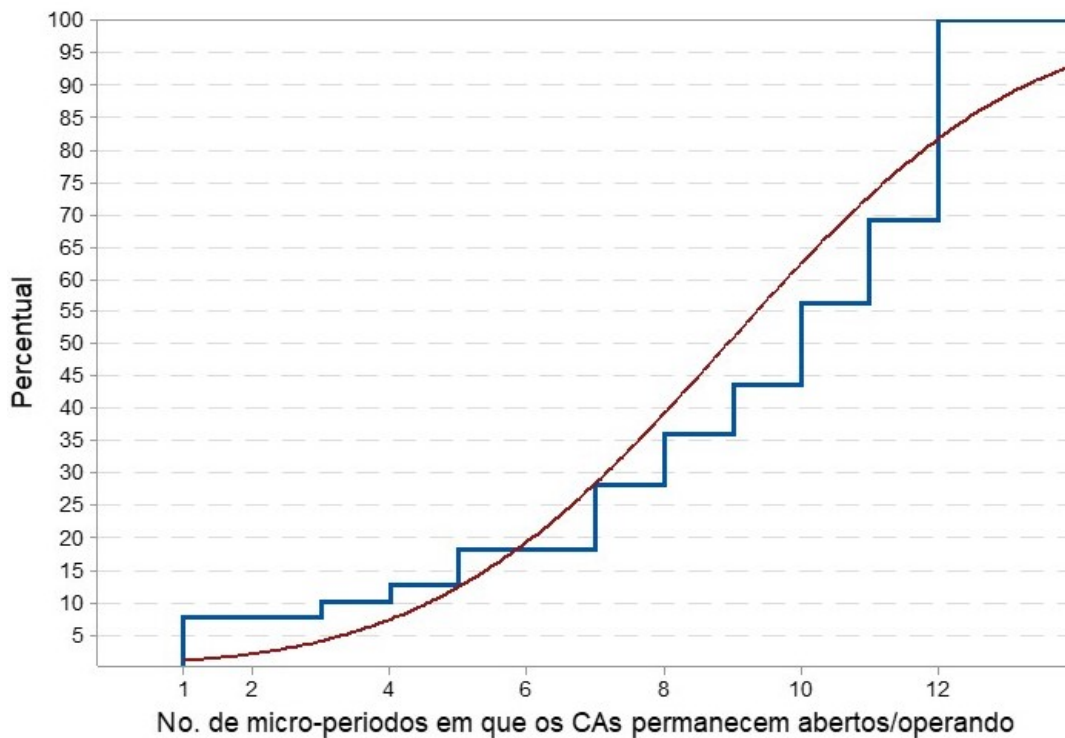
Figura 18 – (Continuação)-Mapeamento da rede para o depósito de Belo Horizonte.



Fonte: Elaboração Própria.

A Figura 19 apresenta a função de distribuição acumulada empírica para os microperíodos (meses) em que os centros de auxílio permanecem abertos e operando. A probabilidade de selecionar um centro de auxílio ao acaso e ele ter um período de funcionamento de mais de 6 meses é 0,8, como resultado dos diversos tipos de desastres socioambientais que acometem o Brasil durante todo o ano. Com esse resultado, seria possível avaliar a possibilidade de se manter alguns centros de auxílio em operação durante o ano todo, ou pelo menos no período do ano em que a probabilidade dele ser necessário é maior. Essa decisão poderia reduzir o tempo de resposta associado com o estabelecimento do centro de auxílio no pós-desastre, por exemplo.

Figura 19 – Função de Distribuição Acumulada empírica dos microperíodos onde os centros de auxílio permanecem abertos/operando.



Fonte: Elaboração Própria.

## 6.2 Análise de sensibilidade do orçamento

O objetivo desta seção é explorar diversos níveis do orçamento financeiro e analisar como as decisões-chave do modelo se comportam em situações de recursos escassos. Para isso, o orçamento inicial estimado  $\beta_t = R\$1.995.987.681$  foi reduzido em 20%, 40%, 60%, 80% e 90%. A Tabela 19 sumariza os resultados das decisões relacionadas aos depósitos e centros de auxílio, enquanto a Tabela 20 ilustra os custos parciais da rede para cada valor de orçamento.

Em relação ao estabelecimento dos depósitos e centros de auxílio, observa-se que a quantidade de instalações abertas e/ou operando reduz-se gradativamente com a redução do orçamento, como era esperado. Entretanto, para algumas variações, as decisões de localização dos depósitos são apenas marginalmente impactadas. Por exemplo, reduzindo-se o orçamento em 20%, todos os depósitos continuam abertos, exceto o de Belo Horizonte, que seria substituído pelo de Manaus, cuja capacidade inicial é quase 13% menor do que a capacidade do depósito de Belo Horizonte, o que reduziria o custo de abertura. (Tabela 40 do apêndice D).

Nesse caso, o custo da nova configuração diminui cerca de 1.8%, enquanto o custo da sua respectiva operação é reduzido em 6%. Por outro lado, como o número de centros de auxílio cai substancialmente de 39 para 19, o correspondente custo de abertura/operação diminui quase 20%. Como consequência do número reduzido de centros de auxílio, o transporte de produtos emergenciais utiliza menos transbordo, o que se reflete na redução dos fluxos entre centros de auxílio e no aumento dos fluxos entre depósitos e centros de auxílio, tornando três vezes mais caro atender as áreas afetadas.

No que se refere a orçamentos escassos, nota-se que os depósitos pertencentes à Região Nordeste 2 são os mais frequentemente abertos devido aos custos unitários de construção mais econômicos e menores capacidades iniciais, o que gera um custo total de instalação menor. Em particular, o depósito localizado em João Pessoa é estabelecido em todos os casos analisados, pois seu correspondente Custo Unitário de Construção por metro quadrado (CUB) é o mais econômico ( $R\$544/m^2$ ) dentre todos os 17 candidatos a depósitos. Além disso, a capacidade inicial de abertura desse depósito ( $7.507 m^2$ ) é a menor

dentre todas as outras.

Nesta mesma linha, percebe-se que em todas as reduções do orçamento consideradas, sempre se manterão abertos e operando os centros de auxílio localizados em Taboão da Serra (SoVI=16.438) e João Pessoa (SoVI=4.244). Esse resultado já era esperado, devido ao fato de que essas cidades pertencem a áreas afetadas com muito-alta vulnerabilidade e alta-vulnerabilidade, respectivamente. Desse modo, com uma redução de 20% até 80% do orçamento, estão abertos/operando os centros de auxílio localizados em Teresina (SoVI=4.083) e Vitória do Mearim (SoVI=3.522) que mostram um nível alto de vulnerabilidade social. No entanto, com uma redução entre 20% e 60%, é localizado um centro de auxílio em Bacabal (SoVI=2.838), com uma *média-alta vulnerabilidade*. Veja então que a dinâmica de abertura e operação desses centros de auxílio está relacionada aos níveis de vulnerabilidade social mais críticos das áreas afetadas, isto é, com a perspectiva de atender prioritariamente as vítimas mais vulneráveis. Por outro lado, menos depósitos e centros de auxílio levam, inevitavelmente, ao aumento da distância entre os centros de auxílio existentes e as áreas afetadas, o que aumenta substancialmente o custo de atendimento das vítimas.

Com reduções superiores a 60% do orçamento inicial, entretanto, há uma queda no custo de atendimento, pois muito menos áreas são cobertas. Embora os custos de preposicionamento e compra também apresentem uma redução gradual como consequência da redução do orçamento, há uma tendência em priorizar o preposicionamento de alguns produtos em detrimento a sua compra. De fato, a quantidade de produtos emergenciais preposicionados (resp. comprados) apresenta uma queda de 9.400% (23.40%), 32.57% (42.28%), 53.71% (61.95%), 82.75% (79.09%) e 87.06% (90.93%), quando o orçamento é 20%, 40%, 60%, 80% e 90% mais baixo, respectivamente. Observa-se, entretanto, que essa diferença é cada vez menor por conta da sucessiva redução da capacidade total dos depósitos instalados (levando a uma reduzida capacidade de preposicionamento) e do número de depósitos abertos/operando.

Em especial, observa-se que no caso em que apenas 20% do orçamento esta disponível, o preposicionamento é ainda menos atraente do que a compra, devido aos altos custos fixos que a primeira estratégia implica. Em todos os casos analisados, água, colchão

e *kit* dormitório tendem a ser menos preposicionados porque esses produtos ocupam em média ( $0.545 \text{ m}^2/\text{unidade}$ ) uma área maior para eles serem armazenados nos depósitos e preposicioná-los implicaria ter mais (e/ou maiores) depósitos. Conforme o orçamento é reduzido, é menor o número de depósitos que se dedicam ao preposicionamento. Porém, o *kit* dormitório apresenta uma flutuação quando preposiciona-se esse produto. ( Tabela 43 do Apêndice D). Essa flutuação vem do fato que o *kit* dormitório tem uma área por metro quadrado ( $0.175 \text{ m}^2/\text{unidade}$ ) maior que a área média dos outros produtos. Assim, conforme a redução do orçamento, para esse produto, será preposicionada e adquirida uma porcentagem da demanda, sempre proporcional à dita redução.

Tabela 19 – Sumário das principais decisões logísticas reduzindo-se o orçamento financeiro.

Decisões Logísticas	$\beta_t$	$0.80 \cdot \beta_t$	$0.60 \cdot \beta_t$	$0.40 \cdot \beta_t$	$0.20 \cdot \beta_t$	$0.10 \cdot \beta_t$
Número de depósitos instalados	4	4	4	3	1	1
Número de centros de auxílio abertos/operando	39	19	14	10	13	5
Unidades totais preposicionadas	566.272	516.349	382.275	265.601	95.743	77.108
Unidades totais compradas nos centros de auxílio	2.581.636	2.002.673	1.509.055	995.521	534.416	238.153
Demanda coberta	3.147.909	2.519.022	1.891.330	1.261.122	630.159	315.261

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 20 – Custos parciais da rede humanitária reduzindo-se o orçamento financeiro (em Reais Brasileiros R\$).

Custo	$\beta_t$	$0.80 \cdot \beta_t$	$0.60 \cdot \beta_t$	$0.40 \cdot \beta_t$	$0.20 \cdot \beta_t$	$0.10 \cdot \beta_t$
Instalação dos depósitos	27.665.737	23.267.144	18.515.086	24.503.503	4.083.917	4.083.917
Operação dos depósitos	2.046.488	1.734.448	1.396.624	2.026.944	337.824	337.824
Instalação/Operação dos centros de auxílio	1.333.353.933	1.067.681.920	801.239.352	532.097.162	266.916.125	133.530.263
Atendimento das áreas afetadas	50.541	163.744	178.766	188.353	128.432	146.195
Preposicionamento nos depósitos	111.831.703	95.739.895	75.407.393	70.040.390	19.297.604	14.471.063
Compra nos centros de auxílio	518.383.917	405.818.408	299.210.601	168.830.692	108.411.291	47.016.940
Transporte entre depósitos e centros de auxílio	850.007	2.151.955	1.482.476	73.153	7.644	12.567
Transporte entre centros de auxílio	1.805.354	232.630	162.310	634.874	14.700	0
Custo total	1.995.987.681	1.596.790.145	1.197.592.609	798.395.072	399.197.536	199.598.768

Fonte: Elaboração Própria.

Note que, sob orçamento limitado, não é possível atender às necessidades de todas as vítimas de uma vez. Sendo assim, faz-se necessário adotar algum critério de seleção para identificar quais áreas afetadas deveriam ser atendidas em primeira instância. As áreas afetadas não cobertas diretamente pelos aparelhos governamentais poderiam ser posteriormente atendidas via doações, possivelmente gerenciadas por agências não-governamentais.

Nesse sentido, o SoVI adotado neste trabalho tem o papel de identificar aquelas áreas mais socialmente vulneráveis ao impacto de desastres socioambientais e, conseqüentemente, o modelo de maximização de cobertura ponderado pelo SoVI vai tentar, o tanto quanto for possível, priorizar o atendimento das áreas com piores índices de vulnerabilidade social.

A Tabela 21 resume os níveis de serviços médios para cada intervalo de SoVI, considerando as reduções de orçamento já apresentadas. Essa tabela também ilustra os resultados dos níveis de serviços médios quando se maximiza apenas o atendimento total, sem considerar a prioridade dada pelo SoVI, o que equivale a fazer  $SoVI = 1$  na função objetivo (1). Os detalhes do nível de serviço em cada área afetada são exibidos na Tabela 42 do Apêndice D. Os resultados sugerem que a incorporação do SoVI como medida de priorização para o atendimento emergencial melhora a distribuição média do nível de serviço dos municípios mais vulneráveis. Isso é particularmente evidente nas cidades com muito-alta vulnerabilidade, i.e., Careiro da Várzea, Marabá, Belo Horizonte, Taboão da Serra e Eldorado. Essas cidades mantêm o nível de serviço máximo até quando o orçamento é 60% reduzido, diferentemente das cidades de média vulnerabilidade, cujo nível de serviço médio pode chegar a 14%. Desconsiderando-se o SoVI, a média de atendimento dessas cidades é 18.2% menor, pois o nível de serviço de Eldorado é inferior a 10%, enquanto o nível de serviço médio das outras cidades se mantém em 14%. Nota-se que o nível de serviço das cidades com média vulnerabilidade tais como: Joinville, Barras e Barreiros, foi menor do que as 9 cidades com média-baixa vulnerabilidade, o que pode ser explicado pela sensibilidade da média das 3 cidades classificadas como média vulnerabilidade, veja que por exemplo com a redução de 60% a cidade de Barreiros tem um baixíssimo nível de serviço (0%) em relação as outras cidades, o que pode explicar que a média seja uma métrica com limitações. No pior caso de redução do orçamento, as cidades com muito-alta

vulnerabilidade conseguem atender 48.7% das necessidades das vítimas, enquanto a média de atendimento das outras áreas afetadas é 11%.

Nessa situação de extrema escassez de recursos, a inclusão do SoVI como medida de priorização permite uma melhora de 12% no nível de serviço das cidades com *muito-alta vulnerabilidade*. A Figura 20 ilustra a espacialidade dos níveis de serviço das cidades cuja vulnerabilidade é muito alta (mapas A-C) e alta (mapas D-H). Mesmo com um orçamento bastante restrito, as cidades de Marabá e Taboão da Serra apresentam níveis de serviço de 100% (veja mapa C), enquanto em Careiro da Várzea, apenas 35% das necessidades são atendidas. Ainda assim, Careiro da Várzea pertence a 13% das cidades com atendimento maior do que 20% quando orçamento cai 90%. Claramente, a melhora na efetividade do atendimento das cidades mais vulneráveis é acompanhada pela deterioração no nível de serviço das cidades menos vulneráveis, como era esperado em caso de recursos escassos.

Entretanto, o principal objetivo de usar o nível de vulnerabilidade social como fator de priorização baseia-se na ideia de que certos municípios que contam com pessoas de baixa renda (pobreza econômica), diversidade racial e infraestrutura urbana frágil têm menos condições de lidar com as adversidades de um desastre socioambiental do que aqueles municípios cujas condições socioeconômicas são melhores (HUMMELL *et al.*, 2016). Por essa razão, embora possa parecer polêmico, o uso do SoVI pode ajudar a tomar decisões de alocação de recursos menos enviesadas. Vale ressaltar que o SoVI é uma maneira de considerar a vulnerabilidade social e que combinar a maximização da cobertura via SoVI com medidas de equidade poderia ajudar a obter soluções mais socialmente justas, principalmente para os municípios que têm um valor de SoVI similar, mas cujos níveis de serviço são bem diferentes. Como exemplo tem-se o caso das 3 cidades com média vulnerabilidade, em que se pode notar que na redução de 60% do orçamento o nível de serviço de Joinville é 30.4%, Barreiros é 0% e Barras tem um nível de serviço de 11.4%.

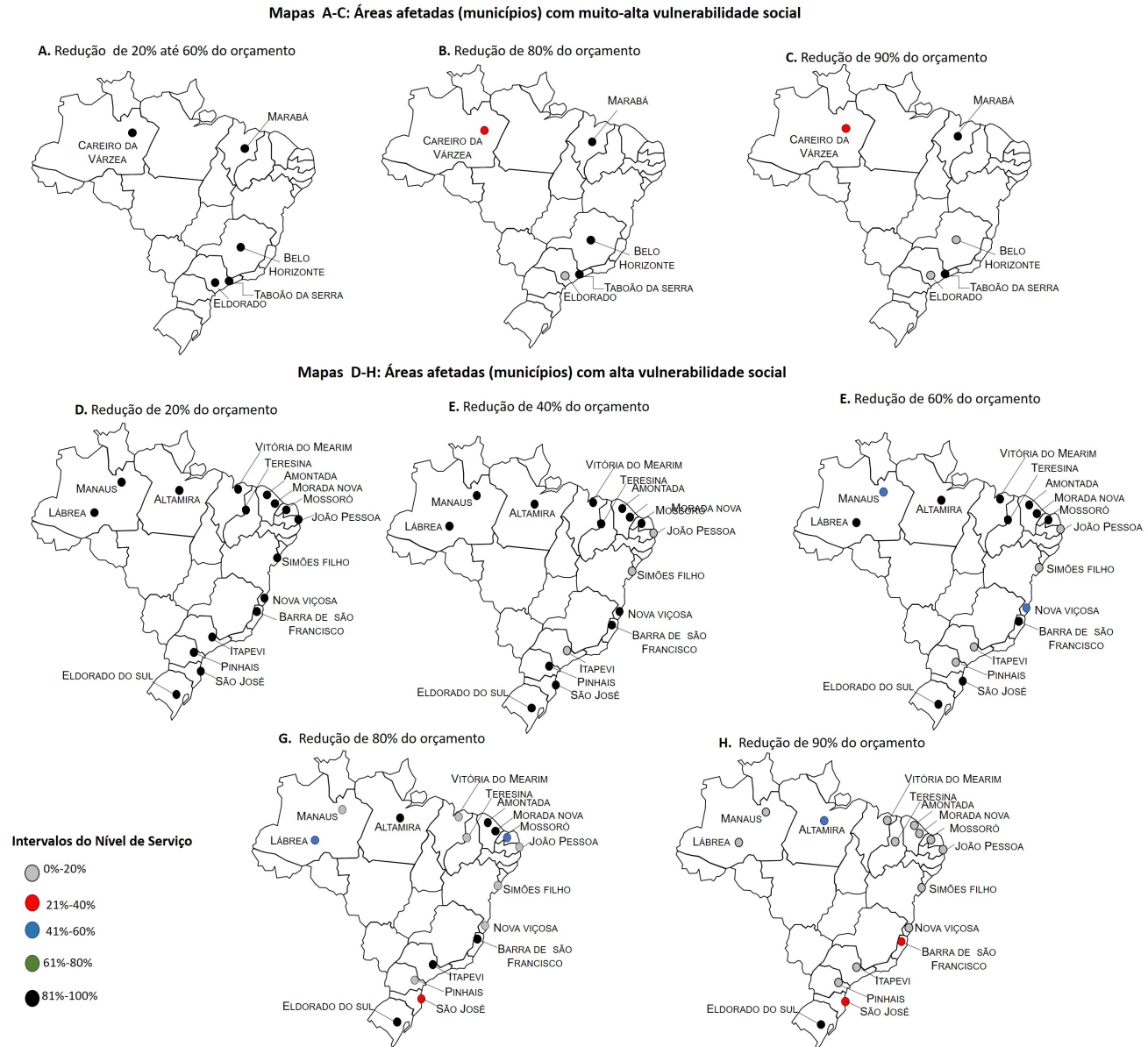


Tabela 21 – Média do nível de serviço por categoria de vulnerabilidade social.

Classificação	Intervalo	$\beta_t$	$0,80 \cdot \beta_t$	$0,60 \cdot \beta_t$	$0,40 \cdot \beta_t$	$0,20 \cdot \beta_t$	$0,10 \cdot \beta_t$
Muito-Baixa Vulnerabilidade	$\text{SoVI} < -1.5$	100.0%	36.3%	36.3%	18.5%	10.7%	5.4%
Baixa Vulnerabilidade	$\text{SoVI} \in [-1.5; -0.5)$	100.0%	80.3%	54.5%	32.7%	9.8%	3.9%
Média-Baixa Vulnerabilidade	$\text{SoVI} \in [-0.5; 0.5)$	100.0%	91.7%	80.9%	49.1%	19.4%	10.9%
Média Vulnerabilidade	$\text{SoVI} \in [0.5; 1.5)$	100.0%	100.0%	78.9%	14.0%	14.0%	7.8%
Média-Alta Vulnerabilidade	$\text{SoVI} \in [1.5; 3)$	100.0%	96.3%	90.1%	70.9%	39.2%	23.4%
Alta Vulnerabilidade	$\text{SoVI} \in [3; 4.5)$	100.0%	100.0%	83.0%	70.1%	45.0%	16.6%
Muito-Alta Vulnerabilidade	$\text{SoVI} \geq 4.5$	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	68.7%	48.7%
<b>Sem Prioridade</b>	–	100.0%	93.35%	79.42%	58.20%	34.12%	16.98%

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 20 – Distribuição do nível de serviço para cidades com Muito-alta vulnerabilidade e alta vulnerabilidade social.



Fonte: Elaboração Própria.

### 6.3 Impacto das estratégias puras de preposicionamento e aquisição de produtos emergenciais

Apesar de ser uma das estratégias mais efetivas para atender as vítimas numa situação de pós-desastre, uma vez que não se perde tempo de resposta na aquisição e consolidação de produtos emergenciais, o preposicionamento pode ser bastante custoso. Por outro lado, a aquisição de produtos apenas no pós-desastre pode ocasionar atraso no atendimento das vítimas, e também pode ser custoso, principalmente na ausência de um acordo de compra para manter estável o preço dos produtos ao longo de um período de tempo. Por essa razão, a combinação dessas estratégias tem o potencial de poupar recursos. Qual seria o impacto financeiro, entretanto, se apenas uma das duas estratégias fosse implementada? nesse caso, como seria distribuição espacial dos depósitos e centros de auxílio? Para responder essas duas questões, o modelo (4.5) foi resolvido de duas maneiras: (i) proibindo-se, no primeiro caso, a aquisição de produtos no pós-desastre, mantendo a obrigatoriedade de satisfazer toda a demanda; e (ii) proibindo-se o preposicionamento nos depósitos, de modo que toda a demanda deve ser satisfeita a partir da aquisição de produtos no pós-desastre.

As Tabelas 22 e 23 resumizam os resultados das principais decisões do modelo de otimização, enquanto a Figura 21 mostra a distribuição espacial dos depósitos instalados e centros de auxílio estabelecidos/operando, respectivamente. As principais observações que podem ser feitas a partir desses resultados são discutidas a seguir.

A estratégia de preposicionamento implica a instalação de 13 depósitos dos 17 potenciais candidatos a serem instalados, ou seja, 76% dos depósitos são abertos ao longo de todo o território brasileiro. Todos os depósitos instalados utilizam 100% da sua capacidade para preposicionar os itens emergenciais. Como as Regiões Sul e Sudeste concentram o maior volume de demanda por produtos emergenciais, não é surpresa que 38% dos depósitos estão nessas regiões. Em relação ao número de centros de auxílios abertos, pode-se dizer 67% deles se concentram majoritariamente nas Regiões Sul e Sudeste do Território Brasileiro. Além disso, 50% dos centros de auxílio permanecem abertos/operando durante todo o período de operações.

Quando não se pode preposicionar no pré-desastre, são estabelecidos todos os 50 candidatos para cobrir as necessidades das vítimas das áreas afetadas. Nesse caso, a capacidade de operação desses centros é totalmente utilizada para alocar as compras efetivadas, como se resume na Tabela 23. Os detalhes das quantidades compradas de cada produto emergencial encontram-se na Tabela 44 do Apêndice E.

Tabela 22 – Distribuição das unidades preposicionadas nos depósitos instalados por produto emergencial e utilização da capacidade.

Unidades Preposicionadas nos depósitos instalados por produto emergencial									Utilização da capacidade ( $m^2$ )			
Estado	Depósito	Kit Água Mineral	Kit Cesta de Alimentos	Kit Colchão	Kit Dormitório	Kit Higiene Pessoal	Kit Limpeza	Total Geral	%	Capacidade ( $m^2$ )	Prep ( $m^2$ )	% Utilização da Capacidade
PR	Curitiba	110.885	27.722	88.799	110.885	27.722	27.722	393.735	13%	156.369	156.369	100%
MG	Belo Horizonte	103.470	25.872	103.470	103.470	25.872	25.872	388.025	12%	175.589	175.589	100%
SP	São Paulo	103.470	25.868	103.470	103.470	25.868	25.868	388.014	12%	175.589	175.589	100%
RS	Porto Alegre	92.144	23.036	92.144	92.144	23.036	23.036	345.542	11%	156.369	156.369	100%
BA	Salvador	83.938	20.984	83.938	83.938	20.984	20.984	314.768	10%	142.443	142.443	100%
SC	Florianópolis	73.403	18.352	95.489	73.403	18.352	18.352	297.351	9%	156.369	156.369	100%
AM	Manaus	67.709	16.929	67.709	67.709	16.929	16.929	253.915	8%	114.903	114.903	100%
AC	Rio Branco	67.709	16.928	67.709	67.709	16.928	16.928	253.911	8%	114.903	114.903	100%
PI	Teresina	82.196	20.549	16.610	82.196	20.549	20.549	242.649	8%	45.043	45.043	100%
PB	João Pessoa	53.086	13.271	21.806	53.086	13.271	13.271	167.791	5%	45.043	45.043	100%
MA	São Luís	1.425	356	35.223	1.425	356	356	39.141	1%	51.087	51.087	100%
PA	Belém	0	0	31.787	0	0	0	31.787	1%	45.774	45.774	100%
RN	Natal	0	0	31.280	0	0	0	31.280	1%	45.043	45.043	100%

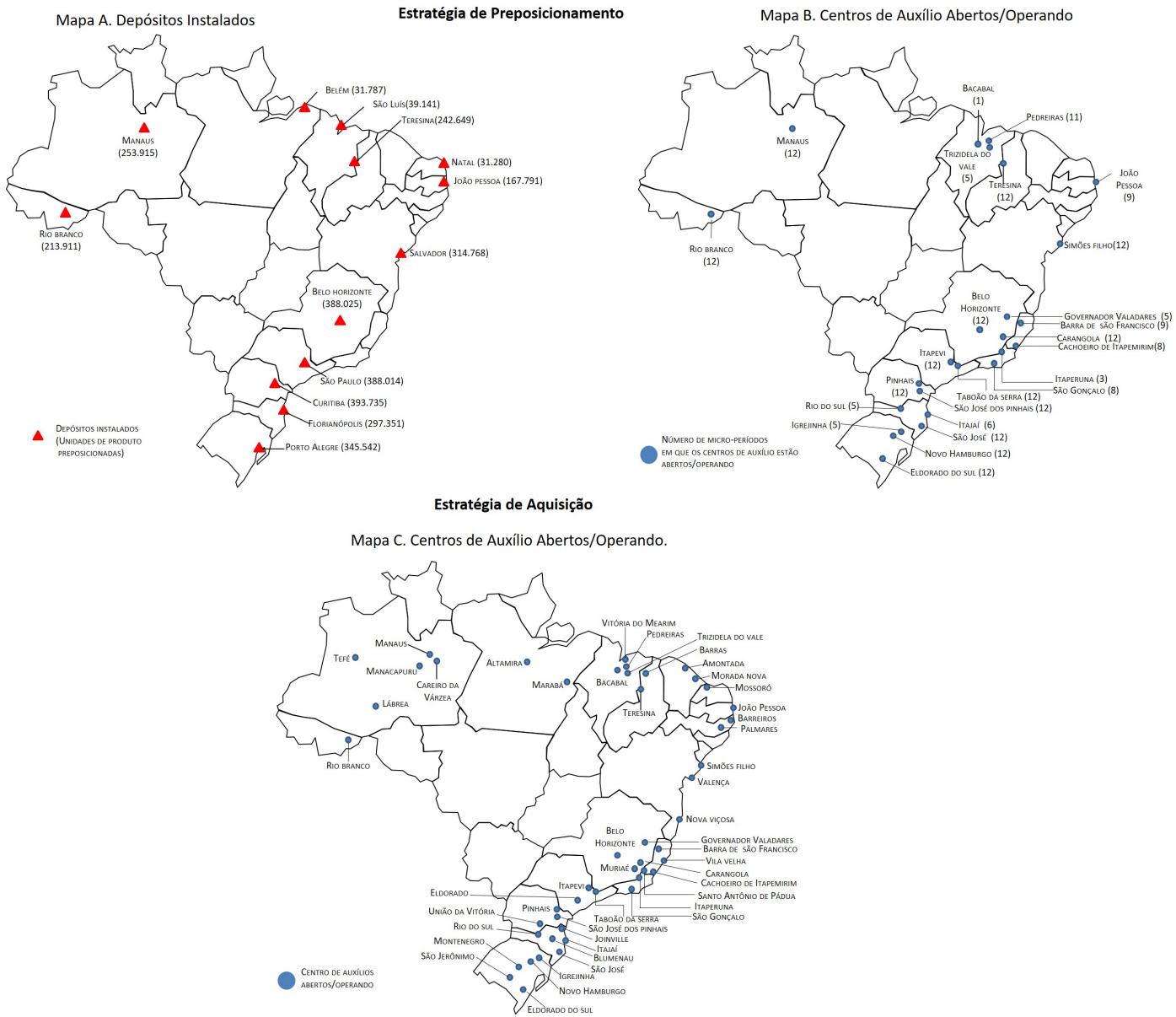
Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 23 – Distribuição das unidades compradas nos centros de auxílio instalados e utilização da capacidade.

Produto Emergencial	Demanda (Unidades Produto)	Unidades Compradas	%	Região	Centro Aux. Abertos	Capacidade Centros de Aux.	Compra efetiva ( $m^2$ )	% Utilização
Kit Limpeza	209.868	209.868	100%	Norte1	6	176.774	176.774	100%
Kit Higiene Pessoal	209.868	209.868	100%	Norte2	6	78.595	78.595	100%
Kit Dormitório	839.435	839.435	100%	Nordeste1	3	109.571	109.571	100%
Kit Colchão	839.435	839.435	100%	Nordeste2	8	173.243	173.243	100%
Kit Cesta de Alimentos	209.868	209.868	100%	Sul	13	480.456	480.456	100%
Kit Água Mineral	839.435	839.435	100%	Sudeste	14	405.885	405.885	100%

Fonte. Elaboração Própria.

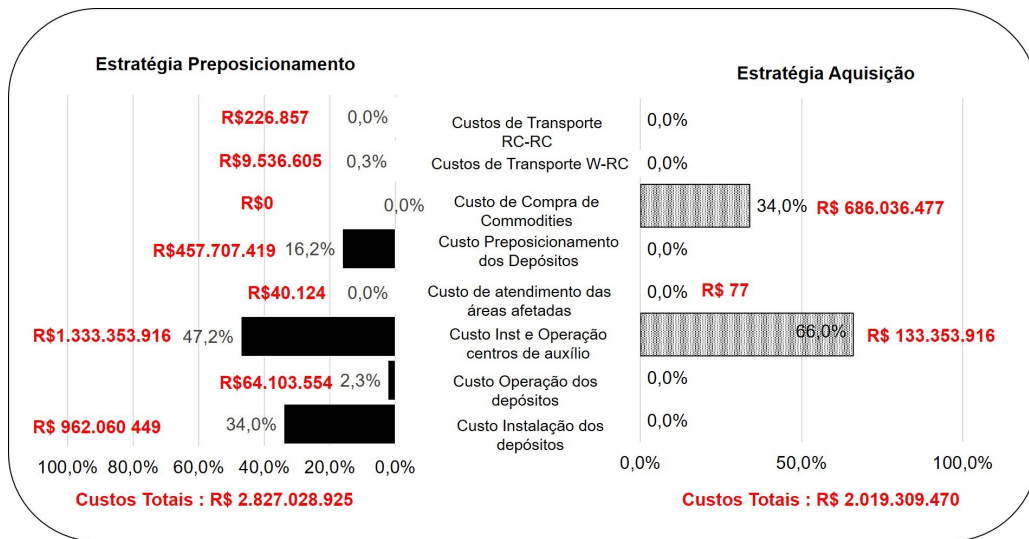
Figura 21 – Distribuição espacial das facilidades em cada estratégia para o atendimento da demanda.



Fonte: Elaboração Própria.

Após analisar as estratégias logísticas isoladamente, é importante comparar os custos parciais e totais da rede em cada caso. Assim, atende-se à demanda via preposicionamento gerando um custo total R\$2.827.020.925. Entretanto, quando o atendimento da demanda é realizado via aquisição, o custo total é R\$2.019.390.470, o que indica que a estratégia de preposicionamento é 40% mais cara que a estratégia de aquisição, pois esse custo leva em consideração a instalação de depósitos. Além disso, o custo de preposicionamento é R\$457.707.419, enquanto o custo de compra de itens emergenciais é R\$686.036.477, ou seja, 50% mais caro do que o primeiro. Ainda sendo essa estratégia no total a mais custosa, ela contém outras parcelas dos custos representativos, i.e, custo de instalação dos depósitos R\$962.060.449 (34%) do total dos custos da rede, R\$64.103.554 (2.3%) em relação aos custos da operação dos depósitos, R\$ 1.333.353.916(47.2%) em relação os custos de operação e instalação dos centros de auxílio, R\$ 40.124 (0%), R\$ 9.536.606 (0.3%) dos custos de transporte entre depósitos e centros de auxílio e R\$ 226.857 (0.01%). No entanto, a estratégia de aquisição apresenta um comportamento esperado, pois o custo de compra representa 66% do total da rede, seguido do custo de estabelecimento/operação dos centros de auxílio, que são iguais a estratégia de preposicionamento, porém relativamente representam 34%. Outro fato observado é que os custos de atendimento com essa estratégia são mais baratos R\$77, pois os centros de auxílio se localizam diretamente nas áreas afetadas, conseguindo assim minimizar o percurso entre centros de auxílio e áreas afetadas.

Figura 22 – Comparação dos custos da rede empregando isoladamente as estratégias de preposicionamento e aquisição.



Fonte: Elaboração Própria.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação de mestrado foi estudado o problema de desenho da rede humanitária de suprimentos no Brasil. Para isso, propôs-se um modelo matemático de programação linear inteira cujo objetivo reside na maximização da cobertura das áreas afetadas ao longo do território brasileiro. Essa proposta de modelagem incorpora novidades na formulação matemática do problema, como a incorporação de dois níveis de instalações (depósitos e centros de auxílio), dimensionamento da capacidade e o índice de vulnerabilidade social que prioriza o atendimento de áreas mais vulneráveis.

Para tanto, foi realizada uma coleta de dados baseada em 11 tipos de desastres naturais com maior frequência de ocorrência no período de 2007-2016 no território brasileiro, empregando novas informações coletadas a partir do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres-S2ID.

Os principais resultados sugerem que: (i) os depósitos optam por centralizar suas operações no horizonte de planejamento nas Regiões (Nordeste 2, Norte 2 e Sudeste), onde os custos de construção ( $R\$/m^2$ ) são mais econômicos e os tamanhos das capacidades iniciais são menores em comparação com os outros candidatos a depósitos. Nesse mesmo sentido, os resultados mostram que não há expansão/redução dos depósitos quando se tem apenas um macroperíodo de um ano. Dessa forma, a capacidade de instalação inicial é utilizada no limite para preposicionar alguns produtos emergenciais. (ii) Por outro lado, cabe salientar que não necessariamente os depósitos foram estabelecidos em locais que concentraram historicamente o maior número de vítimas, então para completar a configuração da rede humanitária, o modelo permite estabelecimento/operação dos centros de auxílio para executar as decisões de aquisição dos produtos emergenciais para atender/complementar a assistência não coberta pelo preposicionamento.

Os centros de auxílio abertos e operando estão distribuídos pelo território nacional, com uma suficiente espacialidade e muito próximo às áreas com maior vulnerabilidade social, pois dessa maneira se logra uma resposta mais efetiva para atender as vítimas. 80%

dos centros de auxílio permanecem funcionando durante mais de 6 meses, devido ao fato de que no ano completo e no território brasileiro acontecem vários tipos de desastres socio-ambientais. Com essa informação, instituições como a Defesa Civil ou outras Organizações Humanitárias poderiam avaliar a possibilidade de manter alguns centros de auxílio em operação durante o ano todo, ou pelo menos no período do ano em que a probabilidade de ser utilizado seja maior. Essa decisão poderia reduzir o tempo de resposta associado com o estabelecimento do centro de auxílio no pós-desastre, por exemplo.

(iii) Outro fator importante que o modelo fornece está relacionado com a possibilidade de combinar as estratégias de preposicionamento e compra, para de maneira eficiente atender a demanda dos produtos emergenciais. Embora o custo unitário de compra de todos os produtos emergenciais seja mais elevado do que o custo unitário de preposicionamento, em média, 44.86% dos produtos é preposicionado e 55.14% são adquiridos nos centros de auxílio. Isso acontece porque o preposicionamento, que é uma estratégia tipicamente de pré-desastre, implica em elevados custos de abertura/operação dos depósitos onde os produtos são estocados e gerenciados até a ocorrência de um desastre e, além disso, em custos de transporte dos depósitos até os centros de auxílio. A aquisição de produtos emergenciais no pós-desastre, por outro lado, leva em consideração apenas o custo de compra do produto e a sua disponibilidade.

(iv) Em seguida discutiu-se uma análise de sensibilidade sobre a redução do orçamento para planejamento das operações humanitárias e seus impactos nas decisões da rede, concluindo que a configuração é negligenciada quando se tem recursos escassos e o desempenho da cadeia humanitária é sacrificada. Porém, a análise de sensibilidade mostrou que sempre que o modelo prioriza o atendimento das áreas com maior nível de vulnerabilidade social, a incorporação desta métrica ajuda os administradores da rede a gerenciar suas operações no longo prazo. Obviamente, que quando existe escassez no orçamento financeiro há dificuldades no nível de serviço das áreas.

Assim, considerando que os desafios administrativos são cada vez mais fortes e incertos, os tomadores de decisões de ajuda humanitária deveriam encontrar um adequado balanço do orçamento para manter as atividades de alívio humanitário. A solução do modelo ajudaria a encontrar esse valor, que pode ser usado pelos administradores para solicitar

financiamento das autoridades ou poder público. Neste trabalho optou-se por incorporar o SoVI e mostrar que para cidades que possuam o mesmo nível de vulnerabilidade não necessariamente terão o mesmo nível de serviço; para isso para isso pensou-se que possivelmente caiba uma pesquisa no futuro para incorporar restrições de equidade que permitam otimizar a cobertura de forma justa.

Finalizada esta pesquisa cujas considerações finais foram apresentadas, sugere-se para possíveis discussões futuras pensar na necessidade de incorporar a incerteza no tratamento da demanda de produtos emergenciais e outros dados, de forma que exista um termo de comparação para assim de uma vez por todas definir as interrupções que pode ter uma rede humanitária e seguidamente estabelecer uma métrica para a resiliência; dentre as outras possíveis pesquisas ao futuro poderia constar a ser a abordagem multiobjetivo como uma extensão ao problema de otimização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFSHAR, A.; HAGHANI, A. Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 46, p. 327–338, 2012.

ALEM, D. *et al.* A humanitarian supply chain design model toward a long-term multiple disasters management: A real-world application. *Annals of Operations Research. Working Paper*, p. 1–43, 2017.

AN, S. *et al.* Location planning for transit-based evacuation under the risk of service disruptions. *Transportation Research Part B*, Elsevier Ltd, v. 54, p. 1–16, 2013. ISSN 0191-2615.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS. *Defesa Civil Brasileira (Anuário Brasileiro de Desastres Naturais)*: Brasília. [S.l.], 2012. 88 p. (Volumen I).

APTE, A. Humanitarian logistics: A new field of research and action. *Foundations and Trends in Technology, Information and Operations Management*, v. 3, n. 1, p. 1–100, 2009.

ATA. *Edital de Pregão Eletrônico SRP nº 06/2016 – Kits de Assistência Humanitária*. [S.l.], 2016. Disponível em: <[http://www.mi.gov.br/processo\\_licitatorio](http://www.mi.gov.br/processo_licitatorio)>. Acesso em: Janeiro, 2016.

BALCIK, B.; BEAMON, B. M. Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, v. 11, n. 2, p. 101–121, 2008.

BARZINPOUR, F.; ESMAEILI, V. A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 70, p. 1291–1302, 2014. ISSN 02683768.

BASTIAN, N. D. *et al.* Multi-criteria logistics modeling for military humanitarian assistance and disaster relief aerial delivery operations. *Optimization Letters*, v. 10, n. 5, p. 921–953, Jun 2016.

BERTRAND, J.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.

- BOZORGI-AMIRI, A. *et al.* A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR Spectrum*, v. 35, n. 4, p. 905–933, 2013.
- CAMPBELL, A. M.; JONES, P. C. Prepositioning supplies in preparation for disasters. *European Journal of Operational Research*, Elsevier B.V., v. 209, p. 156–165, 2011.
- CHANG, M. S. *et al.* A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 43, n. 6, p. 737–754, 2007. ISSN 13665545.
- CHARLES, A. *et al.* Designing an efficient humanitarian supply network. *Journal of Operations Management*, v. 47, p. 58–70, 2016.
- CUB. *Relatório de Custos Unitário Básico de Construção*. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.cub.org.br/cub-m2-estadual>>. Acesso em: 6 feb. 2017.
- CUTTER, S. L. *et al.* Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, University of Texas Press, Wiley, v. 84, n. 2, p. 242–261, 2003.
- DURAN, S. *et al.* Pre-positioning of emergency items for CARE international. *Interfaces*, v. 41, n. 3, p. 223–237, 2011.
- EM-DAT2017. *The international disaster database*. 2017. Disponível em: <[http://www.emdat.be/disaster\\_trends/index.html](http://www.emdat.be/disaster_trends/index.html)>. Acesso em: 5 feb. 2017.
- FLANAGAN, B. E. *et al.* A social vulnerability index for disaster management. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, v. 8, n. 1, p. 1–17, 2011.
- FORMULA. *Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>>.
- GALINDO, G.; BATTÀ, R. Prepositioning of supplies in preparation for a hurricane under potential destruction of prepositioned supplies. *Socio-Economic Planning Sciences*, Elsevier Ltd, v. 47, n. 1, p. 20–37, 2013. ISSN 0038-0121.
- GATIGNON, A. *et al.* The Yogyakarta earthquake: humanitarian relief through IFRC's decentralized supply chain. *Int. J. Prod. Econ*, v. 126, p. 102–110, 2010.
- HABIB, M. *et al.* Mathematical Models in Humanitarian Supply Chain Management : A Systematic Literature Review. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2016, 2016.
- HASANZADEH, H. *et al.* An efficient network for disaster management : Model and solution. *Applied Mathematical Modelling*, Elsevier Inc., v. 40, n. 5-6, p. 3688–3702, 2016. ISSN 0307-904X.

HUMMELL, B. M. *et al.* Social vulnerability to natural hazards in Brazil. *International Journal of Disaster Risk Science*, v. 7, n. 2, p. 111–122, Jun 2016.

JABBARZADEH, A. *et al.* Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters : A robust model with real world application. *Transportation Research Part E*, v. 70, p. 225–244, 2014.

JAHRE, M. *et al.* Integrating supply chains for emergencies and ongoing operations in UNHCR. *Journal of Operations Management*, Elsevier Ltd, v. 45, p. 57–72, 2016. ISSN 0272-6963.

KHAYAL, D. *et al.* A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response. *Socio-Economic Planning Sciences*, Elsevier Ltd, v. 52, p. 22–30, 2015. ISSN 0038-0121.

LOGÍSTICA, N. *Relatório de variação média do Índice Nacional da Variação de Custos do Transporte Rodoviário de Carga Lotação*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://setcemg.org.br/plus/modulos/conteudo/?tac=inct>>. Acesso em: Maio, 2017.

MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: \_\_\_\_\_. *MIGUEL, P.A.C. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 2. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier, 2012. cap. 3, p. 165–19.

PAUL, J.; GOVIND, P. Location-allocation planning of stockpiles for effective disaster mitigation. *Ann Oper Res*, v. 196, n. 1, p. 469–490, 2012.

PAUL, J. A.; MACDONALD, L. Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters. *European Journal of Operational Research*, Elsevier B.V., v. 251, n. 1, p. 252–263, 2016.

PRADHANANGA, R. *et al.* Computers & Industrial Engineering An integrated resource allocation and distribution model for pre-disaster planning. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*, Elsevier Ltd, v. 91, p. 229–238, 2016. ISSN 0360-8352.

RAWLS, C. G. *et al.* Pre-positioning planning for emergency response with service quality constraints. *OR Spectrum*, v. 33, n. 3, p. 481–498, 2011.

RAWLS, C. G. *et al.* Pre-positioning and dynamic delivery planning for short-term response following a natural disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, Elsevier Ltd, v. 46, n. 1, p. 46–54, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.seps.2011.10.002>>.

- RAWLS, C. G.; TURNQUIST, M. A. Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological*, Elsevier Ltd, v. 44, n. 4, p. 521–534, 2010. ISSN 01912615. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2009.08.003>>.
- SAHEBJAMNIA, N. *et al.* A hybrid decision support system for managing humanitarian relief chains. *Decision Support Systems*, Article In Press, 2016.
- SEDC-CEPED/UFSC. *Sistema Integrado de Informações sobre Desastres*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 5 jun. 2017.
- THOMAS, A. Elevating humanitarian logistics. *International Aid and Trade Review*, p. 102–106, 2004.
- TOFIGHI, S. *et al.* Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research*, Elsevier B.V., v. 250, p. 239–250, 2016. ISSN 03772217.
- TZENG, G.-h. Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 43, p. 673–686, 2007.
- UNIÃO, D. da. *Decreto de Sálrio Mínimo Brasileiro*. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-12/diario-oficial-da-uniao-publica-decreto-com-o-novo-salario-minimo-de-r-937>>. Acesso em: 30 Dez. 2016.
- VANAJAKUMARI, M. *et al.* An Integrated Logistic Model for Predictable Disasters. *POMS*, v. 25, n. 5, p. 791–811, 2016.
- VERMA, A.; GAUKLER, G. M. Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: An evaluation of deterministic and stochastic modeling approaches. *Computers and Operations Research*, v. 62, p. 197–209, 2015.
- VITORIANO, B. Ã.; ORTUN, T. HADS , a Goal Programming-Based Humanitarian Aid Distribution System. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, v. 64, n. 2009, p. 55–64, 2009.
- WANG, H. *et al.* Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. *TRANSPORTATION RESEARCH PART E*, Elsevier Ltd, v. 69, p. 160–179, 2014. ISSN 1366-5545.
- ZOKAEE, S. *et al.* A robust optimization model for humanitarian relief chain design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, v. 40, n. 17, p. 7996–8016, 2016.

## **Apêndices**



**APÊNDICE A – NÚMERO DE PESSOAS AFETADAS  
E DEMANDA DE KITS EMERGENCIAIS NO  
PERÍODO DE 2007-2016**

Tabela 24 – Média de pessoas desabrigadas e desalojadas para macro período de 1 ano e 12 microperíodos.

Média de Pessoas desabrigadas e desalojadas 2007-2016- Macro Período 1 ano e 12 meses														
Índice	Estados	Município	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	AM	Manaus	7.210	0	15	2.442	11.588	0	0	5	8	0	0	133
2	AM	Tefé	0	0	0	12.665	8.627	0	0	0	0	0	0	0
3	AM	Careiro da Várzea	0	150	0	400	7.961	3.542	0	0	0	0	38	0
4	AM	Lábrea	0	2.487	7.679	5.476	0	0	0	0	0	0	0	455
5	AM	Manacapuru	0	0	867	4.469	9.064	1.463	0	0	0	0	0	1.052
6	RS	Montenegro	0	0	0	7.400	0	0	4.778	656	1.837	8.642	1.537	0
7	RS	Igrejinha	16.704	0	0	0	0	0	267	44	0	125	5.020	0
8	RS	Eldorado do Sul	65	0	0	3.115	2.505	0	0	0	0	0	0	0
9	RS	São Jerônimo	0	0	0	1.535	0	284	0	786	0	716	2.349	4.611
10	RS	Novo Hamburgo	328	0	1.720	120	0	0	4.890	6.388	1.758	0	182	0
11	SC	Blumenau	4.018	25.511	575	172	1	0	0	0	0	51.645	0	15.105
12	SC	Itajaí	1.717	420	12.719	0	0	0	0	0	25	35	3.355	14
13	SC	Joinville	0	0	0	600	0	8.173	0	169	2.900	9.634	0	0
14	SC	Rio do Sul	5.746	0	363	0	1.560	0	0	0	0	0	1.355	492
15	SC	São José	10.661	0	0	0	0	0	0	0	0	32	74	12.564
16	MG	Muriáé	14.837	600	0	4	0	0	0	0	0	0	600	148
17	MG	Governador Valadares	4.121	0	34	0	0	0	0	0	0	1.600	3.887	160
18	MG	Carangola	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.467
19	MG	Belo Horizonte	100	0	111	61.239	0	0	0	0	0	140	507	123
20	RJ	São Gonçalo	1.015	0	96	235	0	0	0	0	0	0	9.037	2.827
21	RJ	Campos dos Goytacazes	2.045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.944
22	RJ	Santo Antônio de Pádua	2.677	0	837	1.850	0	0	0	0	0	0	0	6.123
23	RJ	Itaperuna	0	0	878	7.988	0	0	0	0	0	0	0	0
24	MA	Bacabal	0	900	593	5.977	0	0	0	0	0	0	0	0
25	MA	Trizideia do Vale	0	236	2.708	4.276	0	0	0	0	0	0	0	0
26	MA	Pedreiras	0	0	0	10.327	0	0	0	0	0	0	0	0
27	MA	Vitória do Meaurim	0	0	0	13.945	0	0	0	0	0	0	0	136
28	PR	Pinhais	0	179	0	12.642	0	4.294	0	387	718	0	0	0
29	PR	União da Vitória	1.273	0	0	0	0	2.599	0	0	13	45	0	0
30	PR	São José dos Pinhais	0	0	0	1.325	220	0	0	0	0	0	0	25.000
31	BA	Simões Filho	0	3.808	0	0	0	7.640	0	0	0	0	0	13.057
32	BA	Nova Viçosa	0	0	0	0	3.655	0	0	0	0	0	0	0
33	BA	Valença	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.863
34	SP	Itapevi	545	0	25.000	0	0	0	0	0	0	0	1.200	0
35	SP	Taboão da Serra	886	102	2.400	0	0	0	0	0	0	0	16	214
36	SP	Eldorado	25	0	0	0	0	840	0	0	8.510	0	0	0
37	ES	Vila Velha	3.277	0	1.200	1.620	0	0	0	0	0	6.526	3.515	15.384
38	ES	Cachoeiro de Itapemirim	2.551	0	116	7.648	0	155	0	0	0	0	464	239
39	ES	Barra de São Francisco	39	1.200	0	63	0	0	0	0	0	6	220	5.114
40	PE	Barreiros	0	0	0	0	0	14.820	0	0	0	0	0	0
41	PE	Palmares	0	0	0	0	0	9.036	0	0	0	0	0	0
42	PA	Marabá	0	2.163	2.083	1.712	0	0	0	0	0	0	0	426
43	PA	Altamira	588	0	998	3.586	875	0	0	0	0	0	0	0
44	CE	Amontada	0	0	30	4.145	0	0	0	0	0	0	0	0
45	CE	Morada Nova	0	0	0	3.348	0	0	0	0	0	0	0	0
46	PI	Teresina	0	2.685	6.338	8.028	0	0	0	0	0	0	0	0
47	PI	Barras	0	0	1.376	10.668	0	0	0	0	0	0	0	0
48	AC	Rio Branco	0	7.699	7.336	1.317	0	0	0	0	0	0	20	0
49	PB	João Pessoa	0	0	0	0	0	0	4.045	0	0	22.176	0	0
50	RN	Mossoró	0	0	0	0	0	0	4.600	437	6.738	3.618	0	0

Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 25 – Demanda de água mineral necessária para as vítimas no período 2007-2016. Instância de um ano e 12 meses.

Índice	Estados	Município	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	AM	Manaus	7.210	0	15	2.442	11.588	0	0	5	8	0	0	133
2	AM	Tefé	0	0	0	12.665	8.627	0	0	0	0	0	0	0
3	AM	Careiro da Várzea	0	150	0	400	7.961	3.542	0	0	0	0	38	0
4	AM	Lábrea	0	2.487	7.679	5.476	0	0	0	0	0	0	0	455
5	AM	Manacapuru	0	0	867	4.469	9.064	1.463	0	0	0	0	0	1.052
6	RS	Montenegro	0	0	0	7.400	0	0	4.778	656	1.837	8.642	1.537	0
7	RS	Igrejinha	16.704	0	0	0	0	0	267	44	0	125	5.020	0
8	RS	Eldorado do Sul	0	0	0	3.115	2.505	0	0	0	0	0	0	0
9	RS	São Jerônimo	65	0	0	1.535	0	284	0	786	0	2.170	2.349	4.611
10	RS	Novo Hamburgo	0	0	0	1.720	120	0	4.890	6.388	1.758	0	182	0
11	SC	Blumenau	328	0	1.720	575	172	1	0	0	329	269	19.855	0
12	SC	Itajaí	4.018	25.511	575	172	1	0	0	0	25	35	3.355	14
13	SC	Joinville	1.717	420	12.719	0	0	0	8.173	0	169	2.900	9.634	0
14	SC	Rio do Sul	0	0	0	600	0	1.560	0	0	0	0	1.355	492
15	SC	São José	5.746	0	363	0	0	0	0	0	0	32	74	12.564
16	MG	Muriáé	10.661	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600	148
17	MG	Governador Valadares	14.837	600	0	4	0	0	0	0	0	0	1.600	3.887
18	MG	Carangola	4.121	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	MG	Belo Horizonte	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.467
20	RJ	São Gonçalo	100	0	111	61.239	0	0	0	0	0	140	507	123
21	RJ	Campos dos Goytacazes	1.015	0	96	235	0	0	0	0	0	0	9.037	2.827
22	RJ	Santo Antônio de Pádua	2.045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.944
23	RJ	Itaperuna	2.677	0	837	1.850	0	0	0	0	0	0	0	6.123
24	MA	Bacabal	0	0	878	7.988	0	0	0	0	0	0	0	0
25	MA	Trizidela do Vale	0	900	593	5.977	0	0	0	0	0	0	0	0
26	MA	Pedreiras	0	236	2.708	4.276	0	0	0	0	0	0	0	0
27	MA	Vitória do Meaurim	0	0	0	10.327	0	0	0	0	0	0	0	0
28	PR	Pinhais	0	0	0	13.945	0	0	0	0	0	0	0	136
29	PR	União da Vitória	0	179	0	12.642	0	4.294	0	387	718	0	0	0
30	PR	São José dos Pinhais	1.273	0	0	0	0	2.599	0	0	13	45	0	0
31	BA	Simões Filho	0	0	0	1.325	220	0	0	0	0	0	0	25.000
32	BA	Nova Viçosa	0	3.808	0	0	0	7.640	0	0	0	0	0	13.057
33	BA	Valença	0	0	0	0	3.655	0	0	0	0	0	9.863	0
34	SP	Itapevi	545	0	25.000	0	0	0	0	0	0	0	1.200	0
35	SP	Taboão da Serra	886	102	2.400	0	0	0	0	0	0	0	16	214
36	SP	Eldorado	25	0	0	0	0	840	0	8.510	0	0	0	0
37	ES	Vila Velha	3.277	0	1.200	1.620	0	0	0	0	0	6.526	3.515	15.384
38	ES	Cachoeiro de Itapemirim	2.551	0	116	7.648	0	155	0	0	0	0	464	239
39	ES	Barra de São Francisco	39	1.200	0	63	0	0	0	0	0	6	220	5.114
40	PE	Barreiros	0	0	0	0	0	14.820	0	0	0	0	0	0
41	PE	Palmares	0	0	0	0	0	9.036	0	0	0	0	0	0
42	PA	Marabá	0	2.163	2.083	1.712	0	0	0	0	0	0	0	426
43	PA	Altamira	588	0	998	3.586	875	0	0	0	0	0	0	0
44	CE	Amontada	0	0	30	4.145	0	0	0	0	0	0	0	0
45	CE	Morada Nova	0	0	0	3.348	0	0	0	0	0	0	0	0
46	PI	Teresina	0	2.685	6.338	8.028	0	0	0	0	0	0	0	0
47	PI	Barras	0	0	1.376	10.668	0	0	0	0	0	0	0	0
48	AC	Rio Branco	0	7.699	7.336	1.317	0	0	0	0	0	0	20	0
49	PB	João Pessoa	0	0	0	0	0	0	4.045	0	22.176	0	0	0
50	RN	Mossoró	0	0	0	0	0	0	4.600	437	6.738	3.618	0	0

Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 26 – Demanda de *kit* de alimentos necessários para as vítimas no período 2007-2016. Instância de um ano e 12 meses.

Índice	Município	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Manaus	1.803	0	4	610	2.897	0	0	1	2	0	0	33
2	Tefé	0	0	4	3.166	2.157	0	0	0	0	0	0	0
3	Careiro da Várzea	0	38	0	100	1.990	886	0	0	0	0	10	0
4	Lábrea	0	622	1.920	1.369	0	0	0	0	0	0	0	114
5	Manacapuru	0	0	217	1.117	2.266	366	0	0	0	0	0	263
6	Montenegro	0	0	0	1.850	0	0	1.195	164	459	2.160	384	0
7	Igrejinha	4.176	0	0	0	0	0	67	11	0	31	1.255	0
8	Eldorado do Sul	0	0	0	779	626	0	0	0	0	0	0	0
9	São Jerônimo	16	0	0	71	0	197	0	179	542	587	1.153	0
10	Novo Hamburgo	0	0	0	384	0	0	1.223	1.597	440	0	46	0
11	Blumenau	82	0	430	30	0	0	0	0	12.911	0	3.776	0
12	Itajaí	1.005	6.378	144	43	0	0	0	0	82	67	4.964	0
13	Joinville	429	105	3.180	0	0	0	0	0	6	9	839	3
14	Rio do Sul	1.437	0	0	150	0	2.043	0	42	725	2.409	0	0
15	São José	0	0	91	0	390	0	0	0	0	0	339	123
16	Muriáe	2.665	0	0	0	0	0	0	0	0	8	19	3.141
17	Governador Valadares	3.709	150	0	1	0	0	0	0	0	0	150	37
18	Carangola	1.030	0	9	0	0	0	0	0	0	400	972	40
19	Belo Horizonte	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.117
20	São Gonçalo	25	0	28	15.310	0	0	0	0	0	35	127	31
21	Campos dos Goytacazes	254	0	24	59	0	0	0	0	0	0	2.259	707
22	Santo Antônio de Pádua	511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.736
23	Itaperuna	669	0	209	463	0	0	0	0	0	0	0	1.531
24	Bacabal	0	0	220	1.997	0	0	0	0	0	0	0	0
25	Trizidela do Vale	0	225	148	1.494	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Pedreiras	0	59	677	1.069	0	0	0	0	0	0	0	0
27	Vitória do Mearim	0	0	0	2.582	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Pinhais	0	0	0	3.486	0	0	0	0	0	0	0	34
29	União da Vitória	0	45	0	3.161	0	1.074	0	97	180	0	0	0
30	São José dos Pinhais	318	0	0	0	0	650	0	0	3	11	0	0
31	Simões Filho	0	0	0	331	55	0	0	0	0	0	0	6.250
32	Nova Viçosa	0	952	0	0	0	1.910	0	0	0	0	0	3.264
33	Valença	0	0	0	0	914	0	0	0	0	0	2.466	0
34	Itapevi	136	0	6.250	0	0	0	0	0	0	0	300	0
35	Taboão da Serra	222	26	600	0	0	0	0	0	0	0	4	53
36	Eldorado	6	0	0	0	0	210	0	2.128	0	0	0	0
37	Vila Velha	819	0	300	405	0	0	0	0	0	1.632	879	3.846
38	Cachoeiro de Itapemirim	638	0	29	1.912	0	39	0	0	0	0	116	60
39	Barra de São Francisco	10	300	0	16	0	0	0	0	0	1	55	1.278
40	Barreiros	0	0	0	0	0	3.705	0	0	0	0	0	0
41	Palmares	0	0	0	0	0	2.259	0	0	0	0	0	0
42	Marabá	0	541	521	428	0	0	0	0	0	0	0	107
43	Altamira	147	0	249	897	219	0	0	0	0	0	0	0
44	Amontada	0	0	0	7	1.036	0	0	0	0	0	0	0
45	Morada Nova	0	0	0	0	837	0	0	0	0	0	0	0
46	Teresina	0	671	1.585	2.007	0	0	0	0	0	0	0	0
47	Barras	0	0	344	2.667	0	0	0	0	0	0	0	0
48	Rio Branco	0	1.925	1.834	329	0	0	0	0	0	0	5	0
49	João Pessoa	0	0	0	0	0	0	1.011	0	5.544	0	0	0
50	Mossoró	0	0	0	0	0	0	1.150	109	1.684	905	0	0

Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 27 – Demanda de kits de colchão de solteiro necessário para as vítimas no período 2007-2016. Instância de um ano e 12 meses.

Índice	Estados	Demanda de kit de colchão de solteiro necessário para as vítimas no período 2007-2016. Instância 1 ano e 12 meses														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	AM	Município	7.210	0	15	2.442	11.588	0	0	0	0	0	0	0	0	133
2	AM	Manaus	0	0	0	12.665	8.627	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	AM	Tefé	0	150	0	400	7.961	3.542	0	0	0	0	0	0	38	0
4	AM	Careiro da Várzea	0	2.487	7.679	5.476	0	0	0	0	0	0	0	0	0	455
5	AM	Lábrea	0	0	867	4.469	9.064	1.463	0	0	0	0	0	0	0	1.052
6	RS	Manacapuru	0	0	0	7.400	0	0	0	0	4.778	656	1.837	8.642	1.537	0
7	RS	Montenegro	16.704	0	0	0	0	0	0	0	267	44	0	0	125	5.020
8	RS	Igrejinha	0	0	0	3.115	2.505	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	RS	Eldorado do Sul	65	0	0	0	284	0	0	0	786	0	0	0	0	0
10	RS	São Jerônimo	0	0	0	1.535	0	0	0	0	4.890	6.388	1.758	0	182	0
11	SC	Novo Hamburgo	328	0	1.720	120	0	0	0	0	0	0	0	51.645	0	15.105
12	SC	Blumenau	4.018	25.511	575	172	1	0	0	0	0	0	0	329	269	19.855
13	SC	Itajaí	1.717	420	12.719	0	0	0	0	0	8.173	0	0	25	35	3.355
14	SC	Rio do Sul	0	0	0	600	0	0	0	0	0	0	0	169	2.900	9.634
15	SC	São José	5.746	0	363	0	1.560	0	0	0	0	0	0	0	0	1.355
16	MG	Muriáé	10.661	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	74
17	MG	Governador Valadares	14.837	600	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600
18	MG	Carangola	4.121	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.600	3.887
19	MG	Belo Horizonte	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	RJ	São Gonçalo	100	0	111	61.239	0	0	0	0	0	0	0	0	140	507
21	RJ	Campos dos Goytacazes	1.015	0	96	235	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.037
22	RJ	Santo Antônio de Pádua	2.045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.827
23	RJ	Itaperuna	2.677	0	837	1.850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.944
24	MA	Bacabal	0	0	878	7.988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.123
25	MA	Trizideia do Vale	0	900	593	5.977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	MA	Pedreiras	0	236	2.708	4.276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	MA	Vitória do Mearim	0	0	0	10.327	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	PR	Pinhais	0	0	0	13.945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136
29	PR	União da Vitória	0	179	0	12.642	0	4.294	0	0	0	0	0	0	0	0
30	PR	São José dos Pinhais	1.273	0	0	0	0	2.599	0	0	0	0	0	0	13	45
31	BA	Simões Filho	0	0	0	1.325	220	0	0	0	0	0	0	0	0	25.000
32	BA	Nova Viçosa	0	3.808	0	0	0	7.640	0	0	0	0	0	0	0	13.057
33	BA	Valença	0	0	0	0	3.655	0	0	0	0	0	0	0	0	9.863
34	SP	Itapevi	545	0	25.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.200
35	SP	Taboão da Serra	886	102	2.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
36	SP	Eldorado	25	0	0	0	0	840	0	0	0	0	0	0	0	214
37	ES	Vila Velha	3.277	0	1.200	1.620	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	ES	Cachoeiro de Itapemirim	2.551	0	116	7.648	0	155	0	0	0	0	0	0	6.526	3.515
39	ES	Barra de São Francisco	39	1.200	0	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	464
40	PE	Barreiros	0	0	0	0	0	14.820	0	0	0	0	0	0	6	220
41	PE	Palmares	0	0	0	0	0	9.036	0	0	0	0	0	0	0	0
42	PA	Marabá	0	2.163	2.083	1.712	0	0	0	0	0	0	0	0	0	426
43	PA	Altamira	588	0	998	3.586	875	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	CE	Amontada	0	0	30	4.145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	CE	Morada Nova	0	0	0	3.348	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	PI	Teresina	0	2.685	6.338	8.028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	PI	Barras	0	0	1.376	10.668	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	AC	Rio Branco	0	7.699	7.336	1.317	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
49	PB	João Pessoa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	RN	Mossoró	0	0	0	0	0	0	0	0	4.600	437	6.738	3.618	0	0

Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 28 – Demanda de kits de dormitório necessários para as vítimas no período 2007-2016. Instância de um ano e 12 meses.

		Demanda de kit de dormitório necessária para as vítimas no período 2007-2016. Instância 1 ano e 12 meses												
Índice	Estados	Município	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	AM	Manaus	7.210	0	15	2.442	11.588	0	0	5	8	0	0	133
2	AM	Tefé	0	0	0	12.665	8.627	0	0	0	0	0	0	0
3	AM	Careiro da Várzea	0	150	0	400	7.961	3.542	0	0	0	0	38	0
4	AM	Lábrea	0	2.487	7.679	5.476	0	0	0	0	0	0	0	455
5	AM	Manacapuru	0	0	867	4.469	9.064	1.463	0	0	0	0	0	1.052
6	RS	Montenegro	0	0	0	7.400	0	0	4.778	656	1.837	8.642	1.537	0
7	RS	Igrejinha	16.704	0	0	0	0	0	267	44	0	125	5.020	0
8	RS	Eldorado do Sul	65	0	0	3.115	2.505	0	0	0	0	0	0	0
9	RS	São Jerônimo	0	0	0	1.535	0	284	0	786	0	716	2.349	4.611
10	RS	Novo Hamburgo	0	0	0	1.720	120	0	0	4.890	6.388	1.758	0	182
11	SC	Blumenau	328	0	1.720	575	172	1	0	0	0	51.645	0	15.105
12	SC	Itajaí	4.018	25.511	575	172	1	0	0	0	329	269	19.855	0
13	SC	Joinville	1.717	420	12.719	0	0	0	0	0	25	35	3.355	14
14	SC	Rio do Sul	0	0	0	600	0	8.173	0	169	2.900	9.634	0	0
15	SC	São José	5.746	0	363	0	1.560	0	0	0	0	0	1.355	492
16	MG	Muriáé	10.661	0	0	0	0	0	0	0	0	32	74	12.564
17	MG	Governador Valadares	14.837	600	0	4	0	0	0	0	0	0	600	148
18	MG	Carangola	4.121	0	34	0	0	0	0	0	0	1.600	3.887	160
19	MG	Belo Horizonte	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.467
20	RJ	São Gonçalo	100	0	111	61.239	0	0	0	0	0	140	507	123
21	RJ	Campos dos Goytacazes	1.015	0	96	235	0	0	0	0	0	0	9.037	2.827
22	RJ	Santo Antônio de Pádua	2.045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.944
23	RJ	Itaperuna	2.677	0	837	1.850	0	0	0	0	0	0	0	6.123
24	MA	Bacabal	0	0	878	7.988	0	0	0	0	0	0	0	0
25	MA	Trizideia do Vale	0	900	593	5.977	0	0	0	0	0	0	0	0
26	MA	Pedreiras	0	236	2.708	4.276	0	0	0	0	0	0	0	0
27	MA	Vitória do Meaurim	0	0	0	10.327	0	0	0	0	0	0	0	0
28	PR	Pinhais	0	0	0	13.945	0	0	0	0	0	0	0	136
29	PR	União da Vitória	0	179	0	12.642	0	4.294	0	387	718	0	0	0
30	PR	São José dos Pinhais	1.273	0	0	0	0	2.599	0	0	13	45	0	0
31	BA	Simões Filho	0	0	0	1.325	220	0	0	0	0	0	0	25.000
32	BA	Nova Viçosa	0	3.808	0	0	0	7.640	0	0	0	0	0	13.057
33	BA	Valença	0	0	0	0	3.655	0	0	0	0	0	9.863	0
34	SP	Itapevi	545	0	25.000	0	0	0	0	0	0	0	1.200	0
35	SP	Taboão da Serra	886	102	2.400	0	0	0	0	0	0	0	16	214
36	SP	Eldorado	25	0	0	0	0	840	0	8.510	0	0	0	0
37	ES	Vila Velha	3.277	0	1.200	1.620	0	0	0	0	0	6.526	3.515	15.384
38	ES	Cachoeiro de Itapemirim	2.551	0	116	7.648	0	155	0	0	0	0	464	239
39	ES	Barra de São Francisco	39	1.200	0	63	0	0	0	0	0	6	220	5.114
40	PE	Barreiros	0	0	0	0	0	14.820	0	0	0	0	0	0
41	PE	Palmares	0	0	0	0	0	9.036	0	0	0	0	0	0
42	PA	Marabá	0	2.163	2.083	1.712	0	0	0	0	0	0	0	426
43	PA	Altamira	588	0	998	3.586	875	0	0	0	0	0	0	0
44	CE	Amontada	0	0	30	4.145	0	0	0	0	0	0	0	0
45	CE	Morada Nova	0	0	0	3.348	0	0	0	0	0	0	0	0
46	PI	Teresina	0	2.685	6.338	8.028	0	0	0	0	0	0	0	0
47	PI	Barras	0	0	1.376	10.668	0	0	0	0	0	0	0	0
48	AC	Rio Branco	0	7.699	7.336	1.317	0	0	0	0	0	0	20	0
49	PB	João Pessoa	0	0	0	0	0	0	4.045	0	0	22.176	0	0
50	RN	Mossoró	0	0	0	0	0	0	4.600	437	6.738	3.618	0	0

Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 29 – Demanda de kits de higiene pessoal e limpeza necessários para as vítimas no período 2007-2016. Instância de um ano e 12 meses.

Índice	Município	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Manaus	1.803	0	4	610	2.897	0	0	1	2	0	0	33
2	Tefé	0	0	4	3.166	2.157	0	0	0	0	0	0	0
3	Careiro da Várzea	0	38	0	100	1.990	886	0	0	0	0	10	0
4	Lábrea	0	622	1.920	1.369	0	0	0	0	0	0	0	114
5	Manacapuru	0	0	217	1.117	2.266	366	0	0	0	0	0	263
6	Montenegro	0	0	0	1.850	0	1.195	164	459	2.160	384	0	0
7	Igrejinha	4.176	0	0	0	0	0	67	11	0	31	1.255	0
8	Eldorado do Sul	0	0	0	779	626	0	0	0	0	0	0	0
9	São Jerônimo	16	0	0	0	71	0	197	0	179	542	587	1.153
10	Novo Hamburgo	0	0	0	384	0	0	1.223	1.597	440	0	46	0
11	Blumenau	82	0	430	30	0	0	0	0	12.911	0	3.776	0
12	Itajaí	1.005	6.378	144	43	0	0	0	0	82	67	4.964	0
13	Joinville	429	105	3.180	0	0	0	0	0	6	9	839	3
14	Rio do Sul	1.437	0	0	150	0	2.043	0	42	725	2.409	0	0
15	São José	0	0	91	0	390	0	0	0	0	0	339	123
16	Muriáe	2.665	0	0	0	0	0	0	0	0	8	19	3.141
17	Governador Valadares	3.709	150	0	1	0	0	0	0	0	0	150	37
18	Carangola	1.030	0	9	0	0	0	0	0	0	400	972	40
19	Belo Horizonte	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.117
20	São Gonçalo	25	0	28	15.310	0	0	0	0	0	35	127	31
21	Campos dos Goytacazes	254	0	24	59	0	0	0	0	0	0	2.259	707
22	Santo Antônio de Pádua	511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.736
23	Itaperuna	669	0	209	463	0	0	0	0	0	0	0	1.531
24	Bacabal	0	0	220	1.997	0	0	0	0	0	0	0	0
25	Trizidela do Vale	0	225	148	1.494	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Pedreiras	0	59	677	1.069	0	0	0	0	0	0	0	0
27	Vitória do Mearim	0	0	0	2.582	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Pinhais	0	0	0	3.486	0	0	0	0	0	0	0	34
29	União da Vitória	0	45	0	3.161	0	1.074	0	97	180	0	0	0
30	São José dos Pinhais	318	0	0	0	0	650	0	0	3	11	0	0
31	Simões Filho	0	0	0	331	55	0	0	0	0	0	0	6.250
32	Nova Viçosa	0	952	0	0	0	1.910	0	0	0	0	0	3.264
33	Valença	0	0	0	0	914	0	0	0	0	0	2.466	0
34	Itapevi	136	0	6.250	0	0	0	0	0	0	0	300	0
35	Taboão da Serra	222	26	600	0	0	0	0	0	0	0	4	53
36	Eldorado	6	0	0	0	0	210	0	2.128	0	0	0	0
37	Vila Velha	819	0	300	405	0	0	0	0	0	1.632	879	3.846
38	Cachoeiro de Itapemirim	638	0	29	1.912	0	39	0	0	0	0	116	60
39	Barra de São Francisco	10	300	0	16	0	0	0	0	0	1	55	1.278
40	Barreiros	0	0	0	0	0	3.705	0	0	0	0	0	0
41	Palmares	0	0	0	0	0	2.259	0	0	0	0	0	0
42	Marabá	0	541	521	428	0	0	0	0	0	0	0	107
43	Altamira	147	0	249	897	219	0	0	0	0	0	0	0
44	Amontada	0	0	0	7	1.036	0	0	0	0	0	0	0
45	Morada Nova	0	0	0	0	837	0	0	0	0	0	0	0
46	Teresina	0	671	1.585	2.007	0	0	0	0	0	0	0	0
47	Barras	0	0	344	2.667	0	0	0	0	0	0	0	0
48	Rio Branco	0	1.925	1.834	329	0	0	0	0	0	0	5	0
49	João Pessoa	0	0	0	0	0	1.011	0	109	5.544	0	0	0
50	Mossoró	0	0	0	0	0	1.150	109	1.684	905	0	0	0

Fonte. Elaboração Própria.

## **APÊNDICE B – DISTÂNCIAS**



Tabela 30 – Distância entre os depósitos.

W-W	Rio Branco	Manaus	Belém	Salvador	Fortaleza	São Luís	João Pessoa	Recife	Teressina	Natal	Vitória	Belo Horizonte	Rio de Janeiro	São Paulo	Curitiba	Porto Alegre	Florianópolis
Rio Branco	0	1.369	3.105	4.450	4.085	3.526	4.551	4.524	3.499	4.562	4.086	3.562	3.893	3.496	3.685	4.315	3.985
Manaus	1.369	0	3.065	4.506	4.046	3.486	4.512	4.485	3.460	4.523	4.446	3.923	4.254	3.857	4.046	4.675	4.346
Belém	3.104	3.065	0	2.405	1.493	798	2.051	2.024	905	2.005	3.016	2.662	3.089	2.936	3.307	4.043	3.595
Salvador	4.450	3.926	2.047	0	1.227	1.573	926	809	1.143	1.092	1.170	1.359	1.624	1.971	2.380	3.116	2.668
Fortaleza	4.086	4.031	1.494	1.228	0	907	706	794	589	527	2.200	2.349	2.614	2.961	3.370	4.106	3.658
São Luís	3.525	1.738	799	1.572	907	0	1.578	1.551	432	1.419	2.543	2.536	2.929	2.958	3.339	4.075	3.627
João Pessoa	4.559	4.518	2.059	925	712	1.586	0	123	1.155	190	1.959	2.149	2.413	2.761	3.170	3.906	3.458
Recife	4.524	3.904	2.025	809	795	1.551	123	0	1.121	287	1.843	2.032	2.297	2.644	3.053	3.789	3.341
Teressina	3.499	1.914	906	1.141	589	432	1.148	1.121	0	1.101	2.113	2.183	2.499	2.639	3.020	3.756	3.308
Natal	4.560	3.939	2.061	1.093	526	1.419	183	285	1.101	0	2.127	2.292	2.557	2.904	3.313	4.049	3.601
Vitória	4.086	3.674	3.021	1.170	2.200	2.547	1.961	1.845	2.116	2.124	0	528	516	887	1.362	2.060	1.650
Belo Horizonte	3.562	3.151	2.661	1.358	2.349	2.525	2.149	2.033	2.182	2.292	527	0	438	586	995	1.693	1.283
Rio de Janeiro	3.887	3.499	3.088	1.629	2.620	2.938	2.420	2.303	2.507	2.563	515	437	0	432	850	1.548	1.138
São Paulo	3.492	3.104	2.906	1.952	2.943	2.937	2.743	2.626	2.637	2.886	941	584	430	0	407	1.143	695
Curitiba	3.688	3.300	3.193	2.388	3.379	3.224	3.179	3.062	3.019	3.322	1.351	993	840	410	0	703	302
Porto Alegre	4.319	3.717	3.825	3.123	4.114	3.856	3.914	3.798	3.754	4.057	2.050	1.693	1.539	1.262	705	0	466
Florianópolis	3.988	3.600	3.493	2.673	3.664	3.525	3.464	3.348	3.304	3.608	1.636	1.279	1.126	696	303	466	0

Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 31 – Distância entre depósitos e os centros de auxílio.

	Mauas	Tefé	Careiro da Várzea	Labrea	Manacapuru	Montenegro	Igrejinha	Eldorado do Sul	São Jerônimo	Novo Hamburgo	Blumenau	Itajaí	Joinville	Rio do Sul	São José	Muriae	Governador Valadares	Carambola	Belo Horizonte	São Gonçalo	Campos dos Goycaizes	Santo Antônio de Pádua	Itaperuna	Bacabal	Trizidela do Vale
0	600	30	807	81	3.554	3.565	3.327	3.346	3.268	3.334	3.430	3.185	1.208	1.042	953	2.210	2.589	2.486	2.444	969	3.236	3.232	1.950	1.973	
3.604	3.782	3.583	3.337	3.602	52	76	43	55	47	468	494	548	548	402	426	1.529	1.791	1.594	1.555	1.313	1.554	1.560	3.391	3.357	
3.431	3.675	3.407	3.262	3.438	423	358	469	467	394	105	89	168	134	9	1.095	1.360	1.360	1.161	880	1.123	1.123	1.126	3.023	2.987	
2.931	3.337	2.902	3.042	2.964	1.533	1.479	1.584	1.578	1.511	1.088	1.062	1.010	1.157	255	272	272	272	260	0	400	400	305	1.996	1.956	
3.279	3.652	3.251	3.324	3.307	1.283	1.218	1.329	1.327	1.255	851	814	787	927	869	247	539	539	311	405	20	267	268	2.397	2.356	
2.009	2.609	1.984	2.679	2.086	3.579	3.546	3.633	3.620	3.568	3.172	3.162	3.090	3.223	3.250	2.391	2.108	2.108	2.345	2.210	2.589	2.486	2.406	2.25	2.59	
3.145	3.401	3.121	2.998	3.154	599	558	652	642	583	192	202	123	123	233	290	979	1.208	1.042	953	798	1.043	1.022	2.766	2.732	
2.998	3.533	2.969	3.386	3.056	2.630	2.574	2.681	2.675	2.607	2.185	2.157	2.108	2.256	2.228	1.144	862	862	1.081	1.100	1.375	1.174	1.130	1.371	1.327	
3.094	3.414	3.068	3.051	3.113	960	906	1.011	1.005	937	514	490	436	584	569	592	820	820	654	573	431	667	636	2.481	2.444	
3.297	3.732	3.267	3.459	3.335	1.759	1.693	1.805	1.803	1.730	1.325	1.289	1.259	1.401	1.344	264	269	269	209	439	456	219	217	2.131	2.087	
3.260	3.841	3.232	3.791	3.330	3.407	3.350	3.457	3.452	3.383	2.962	2.933	2.885	3.033	3.003	1.910	1.636	1.636	1.846	1.877	2.139	1.923	1.890	1.350	1.317	
1.487	2.085	1.464	2.205	1.566	3.628	3.607	3.680	3.665	3.623	3.256	3.254	3.178	3.297	3.345	2.630	2.372	2.372	2.595	2.416	2.815	2.745	2.686	2.657	593	
2.743	3.340	2.717	3.371	2.819	3.671	3.625	3.724	3.715	3.653	3.234	3.213	3.152	3.297	3.294	2.278	1.982	1.982	2.219	2.167	2.507	2.333	2.275	799	783	
2.211	2.803	2.184	2.809	2.284	3.315	3.277	3.369	3.357	3.302	2.894	2.880	2.812	2.950	2.967	2.053	1.764	1.764	2.004	1.889	2.269	2.140	2.105	2.064	275	
1.323	934	1.352	516	1.249	3.188	3.227	3.216	3.196	3.211	3.132	3.166	3.102	3.107	3.228	3.437	3.394	3.394	3.458	3.201	3.445	3.581	3.494	3.012	3.021	
3.244	3.830	3.217	3.797	3.316	3.509	3.453	3.560	3.554	3.486	3.064	3.035	2.986	3.134	3.107	2.018	1.740	1.740	1.954	1.977	2.248	2.035	2.000	1.315	1.285	
3.182	3.774	3.155	3.763	3.256	3.630	3.576	3.681	3.675	3.608	3.185	3.158	3.106	3.254	3.232	2.153	1.869	1.869	2.089	2.097	2.383	2.177	2.137	1.237	1.210	

Tabela 32 – Continuação-Distância entre depósitos e centros de auxílio.

W-RC	Pedreiras	Vitória do Meirim	Pinhais	União da Vitória	São José dos Pinhais	Simões Filho	Nova Viçosa	Valença	Iguapevi	Taboão da Serra	Eldorado	Vila Velha de Itapemirim	Cachoeiro de São Francisco	Barra	Barreiros	Palmares	Marabá	Altamira	Amonida	Morada Nova	Teresina	Barras	Rio Branco	João Pessoa	Mossoró
Mauas	1.977	1.935	3.152	3.155	3.162	3.001	3.205	3.176	3.074	3.092	3.108	3.302	3.269	3.120	3.241	3.187	1.421	999	2.611	2.773	2.211	2.267	1.323	3.244	2.905
Porto Alegre	3.354	3.484	631	486	620	2.678	2.078	1.318	964	968	789	1.770	1.656	1.877	3.324	3.310	3.165	3.433	3.675	3.545	3.349	3.470	3.239	3.529	3.592
Florianópolis	2.984	3.118	285	338	274	2.248	1.644	885	550	550	396	1.338	1.222	1.444	2.893	2.880	2.843	3.151	3.270	3.131	2.962	3.082	3.234	3.099	3.173
Belo Horizonte	1.952	2.094	949	1.173	958	1.128	606	312	594	588	777	445	365	393	1.776	1.759	1.956	2.360	2.157	2.005	1.889	2.002	3.201	1.977	2.044
Rio de Janeiro	2.351	2.494	770	1.010	776	1.419	788	103	446	427	610	477	362	598	2.053	2.044	2.359	2.755	2.522	2.353	2.279	2.389	3.433	2.265	2.379
São Luís	262	139	2.991	3.143	3.002	1.598	2.059	2.522	2.706	2.711	2.851	2.330	2.375	2.118	1.411	1.359	712	1.015	616	825	378	337	3.134	1.338	950
Curitiba	2.729	2.860	10	233	16	2.080	1.519	768	363	374	178	1.242	1.124	1.308	2.729	2.712	2.565	2.864	3.047	2.922	2.719	2.841	2.993	2.929	2.972
Salvador	1.321	1.458	2.049	2.270	2.058	28	638	1.343	1.694	1.687	1.877	966	1.055	795	677	660	1.654	2.135	1.220	1.007	1.145	1.214	3.690	879	1.007
São Paulo	2.440	2.577	384	620	393	1.700	1.129	383	35	16	213	857	739	918	2.348	2.332	2.345	2.691	2.708	2.568	2.407	2.525	3.113	2.550	2.612
Vitória	2.083	2.228	1.232	1.471	1.239	991	330	471	885	870	1.064	5	115	211	1.602	1.598	2.201	2.641	2.153	1.960	1.972	2.069	3.633	1.819	1.970
Recife	1.312	1.400	2.826	3.046	2.835	749	1.377	2.114	2.471	2.464	2.654	1.707	1.808	1.559	104	121	1.839	2.289	834	582	1.075	1.060	4.165	120	482
Belém	638	530	3.069	3.185	3.080	1.933	2.395	2.725	2.831	2.841	2.950	2.623	2.645	2.409	1.939	1.885	506	523	1.170	1.375	863	870	2.685	1.883	1.502
Fortaleza	779	808	3.071	3.264	3.082	1.160	1.816	2.454	2.739	2.738	2.910	2.136	2.214	1.946	779	738	1.364	1.745	1.34	179	571	483	3.799	639	242
Teresina	238	336	2.719	2.888	2.730	1.130	1.693	2.197	2.415	2.418	2.570	1.975	2.026	1.764	1.078	1.024	804	1.223	459	564	0	126	3.230	1.042	696
Rio Branco	3.024	3.028	3.002	2.901	3.008	3.702	3.667	3.344	3.083	3.105	3.035	3.639	3.565	3.513	4.118	4.067	2.441	2.163	3.678	3.782	3.230	3.318	0	4.181	3.909
João Pessoa	1.280	1.357	2.925	3.143	2.934	851	1.489	2.220	2.571	2.565	2.754	1.819	1.918	1.667	221	221	1.825	2.264	758	515	1.042	1.014	4.181	0	400
Natal	1.206	1.268	3.041	3.254	3.051	981	1.633	2.351	2.690	2.685	2.871	1.964	2.059	1.803	386	373	1.771	2.192	630	413	972	925	4.163	174	283

Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 33 – Distância entre os centros de auxílio e as áreas afetadas.

RC-RC	Manaus	Tefé	Carreiros da Várzea	Lábrea	Manacapuru	Monte Negro	Injeitinho	Eldeirado do Sul	São Jerônimo	Novo Hamburgo	Blumenau	Inajá	Joinville	Rio do Sul	São José	Maricá	Governador Valadares	Carangulá	Belo Horizonte	São Gonçalo	Campus dos Goyazes	Santo Antônio de Pádua	Imperatriz	Bacabal	Trindade do Vale
Manaus	0	600	3554	3507	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565
Carreiros da Várzea	600	0	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747
Lábrea	3578	3578	0	816	103	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352
Manacapuru	3578	3578	816	0	733	3286	3314	3320	3300	3304	3357	3386	3415	3442	3471	3500	3529	3558	3587	3616	3645	3674	3703	3732	3761
Monte Negro	3578	3578	103	733	0	3351	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Eldeirado do Sul	3578	3578	3352	3352	3352	0	76	54	45	37	445	475	524	573	622	671	720	769	818	867	916	965	1014	1063	1112
São Jerônimo	3578	3578	3352	3352	3352	76	0	112	21	75	496	525	573	622	671	720	769	818	867	916	965	1014	1063	1112	1161
Novo Hamburgo	3578	3578	3352	3352	3352	112	112	0	0	75	490	520	569	618	667	716	765	814	863	912	961	1010	1059	1108	1157
Blumenau	3578	3578	3352	3352	3352	45	45	21	75	490	520	569	618	667	716	765	814	863	912	961	1010	1059	1108	1157	1206
Inajá	3578	3578	3352	3352	3352	37	37	40	75	490	520	569	618	667	716	765	814	863	912	961	1010	1059	1108	1157	1206
Joinville	3578	3578	3352	3352	3352	445	445	492	541	589	638	687	736	785	834	883	932	981	1030	1079	1128	1177	1226	1275	1324
Rio do Sul	3578	3578	3352	3352	3352	524	524	573	622	671	720	769	818	867	916	965	1014	1063	1112	1161	1210	1259	1308	1357	1406
São José	3578	3578	3352	3352	3352	3314	3320	3320	3300	3304	3357	3386	3415	3442	3471	3500	3529	3558	3587	3616	3645	3674	3703	3732	3761
Maricá	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Governador Valadares	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Carangulá	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Belo Horizonte	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
São Gonçalo	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Campus dos Goyazes	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Santo Antônio de Pádua	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Imperatriz	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Bacabal	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Trindade do Vale	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Manaus	0	600	3554	3507	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565
Carreiros da Várzea	600	0	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747
Lábrea	3578	3578	0	816	103	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352
Manacapuru	3578	3578	816	0	733	3286	3314	3320	3300	3304	3357	3386	3415	3442	3471	3500	3529	3558	3587	3616	3645	3674	3703	3732	3761
Monte Negro	3578	3578	103	733	0	3351	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Eldeirado do Sul	3578	3578	3352	3352	3352	0	76	54	45	37	445	475	524	573	622	671	720	769	818	867	916	965	1014	1063	1112
São Jerônimo	3578	3578	3352	3352	3352	76	0	112	21	75	496	525	573	622	671	720	769	818	867	916	965	1014	1063	1112	1161
Novo Hamburgo	3578	3578	3352	3352	3352	112	112	0	0	75	490	520	569	618	667	716	765	814	863	912	961	1010	1059	1108	1157
Blumenau	3578	3578	3352	3352	3352	45	45	21	75	490	520	569	618	667	716	765	814	863	912	961	1010	1059	1108	1157	1206
Inajá	3578	3578	3352	3352	3352	37	37	40	75	490	520	569	618	667	716	765	814	863	912	961	1010	1059	1108	1157	1206
Joinville	3578	3578	3352	3352	3352	445	445	492	541	589	638	687	736	785	834	883	932	981	1030	1079	1128	1177	1226	1275	1324
Rio do Sul	3578	3578	3352	3352	3352	524	524	573	622	671	720	769	818	867	916	965	1014	1063	1112	1161	1210	1259	1308	1357	1406
São José	3578	3578	3352	3352	3352	3314	3320	3320	3300	3304	3357	3386	3415	3442	3471	3500	3529	3558	3587	3616	3645	3674	3703	3732	3761
Maricá	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Governador Valadares	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Carangulá	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Belo Horizonte	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
São Gonçalo	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Campus dos Goyazes	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Santo Antônio de Pádua	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Imperatriz	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Bacabal	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Trindade do Vale	3578	3578	3352	3352	3352	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Manaus	0	600	3554	3507	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565	3578	3578	3565
Carreiros da Várzea	600	0	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747	3747
Lábrea	3578	3578	0	816	103	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352	3352
Manacapuru	3578	3578	816	0	733	3286	3314	3320	3300	3304	3357	3386	3415	3442	3471	3500	3529	3558	3587	3616	3645	3674	3703	3732	3761
Monte Negro	3578	3578	103	733	0	3351	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354	3354
Eldeirado do Sul	3578	3578	3352	3352	3352	0	76	54	45	37	445	475													

Tabela 34 – Continuação- Distância entre os centros de auxílio e as áreas afetadas.

RC-RC	Pedreiras	União da Vitória	São José dos Pinhais	Sinões Filho	Novo Vespasiano	Valença	Itaipu	Tafoada da Serra	Eldorado	Vila Velha	Cachoeira de Imbuém	Barra de São Francisco	Barreiros	Palmeiras	Marabá	Altamira	Amomada	Morada Nova	Teresina	Barna	Rio Branco	Jato Pessoa	Mossoró
Mannas	1.973	3.152	3.155	3.162	3.001	3.205	3.176	3.074	3.092	3.108	3.302	3.269	3.120	3.241	3.187	1.421	999	2.611	2.773	2.211	2.267	1.323	3.244
Alfê	2.571	3.408	3.369	3.417	3.538	3.679	3.535	3.590	3.410	3.594	3.758	3.691	3.571	3.817	3.704	2.005	1.597	3.209	3.566	2.883	2.863	934	3.630
Carvoeira	1.946	1.951	1.909	3.137	2.972	3.176	3.149	3.048	3.066	3.083	3.273	3.240	3.090	3.212	3.158	1.393	973	2.585	2.746	2.184	2.241	1.332	3.217
Lubaca	2.589	2.592	2.581	3.006	3.395	3.446	3.229	3.024	3.045	3.088	3.464	3.405	3.315	3.754	3.702	2.007	1.684	3.246	3.370	2.899	2.888	516	3.797
Manacapuru	2.047	2.051	2.011	3.170	3.060	3.251	3.205	3.092	3.111	3.122	3.341	3.306	3.161	3.309	3.255	1.491	1.075	2.687	2.847	2.284	2.342	1.249	3.316
Montenegro	3.321	3.318	3.347	600	2.658	2.664	1.303	945	892	715	1.695	1.645	1.860	1.800	3.290	3.123	3.387	3.646	3.518	3.315	3.437	3.188	3.509
Igrejinha	3.288	3.285	3.415	558	2.602	2.602	1.242	888	945	715	1.695	1.580	1.800	1.800	3.247	3.233	3.102	3.602	3.470	3.277	3.399	3.227	3.453
Eldorado do Sul	3.374	3.372	3.500	653	2.709	2.112	1.352	992	997	815	1.805	1.691	1.910	1.910	3.355	3.341	3.175	3.438	3.699	3.571	3.369	3.491	3.560
São Jerônimo	3.362	3.359	3.487	644	2.703	2.100	1.348	985	990	807	1.804	1.689	1.906	1.906	3.335	3.160	3.421	3.689	3.563	3.357	3.480	3.106	3.554
Novo Hamburgo	3.310	3.307	3.436	633	2.703	2.033	1.348	985	990	807	1.804	1.689	1.906	1.906	3.335	3.160	3.421	3.689	3.563	3.357	3.480	3.106	3.554
Blumenau	2.913	2.910	3.207	3.307	2.635	2.037	1.277	919	923	743	1.731	1.616	1.835	1.835	3.281	3.267	3.118	3.387	3.269	3.500	3.302	3.423	3.211
Itajaí	2.903	2.900	3.033	186	2.184	1.590	829	474	476	311	1.291	1.210	1.419	1.419	2.860	2.845	3.056	3.312	3.079	2.894	3.015	3.132	3.084
Joinville	2.831	2.828	2.961	117	2.136	1.553	793	417	422	243	1.261	1.144	1.346	1.346	2.783	2.768	2.982	3.130	3.057	2.880	3.000	3.166	3.035
Rio do Sul	2.964	2.961	3.092	232	2.284	1.699	938	564	570	387	1.403	1.286	1.493	1.493	2.931	2.916	2.795	3.086	3.273	3.143	2.950	3.071	3.107
São José	2.991	2.988	3.122	285	2.256	1.652	893	556	556	400	1.346	1.231	1.451	1.451	2.900	2.887	2.846	3.152	3.276	3.137	2.967	3.086	3.228
Mirante	1.441	2.137	2.281	973	2.112	1.172	549	623	622	805	268	273	352	1.807	1.798	2.183	2.599	2.282	2.109	2.053	2.160	3.437	2.018
Vilauber	1.861	1.857	2.002	1.203	1.833	1.211	433	845	835	608	274	254	328	1.533	1.520	1.943	2.377	1.986	1.814	1.764	1.869	3.394	1.740
Carangola	2.092	2.092	2.237	1.036	1.109	484	278	684	670	866	213	110	287	1.742	1.733	2.153	2.575	2.226	2.049	2.004	2.109	3.458	1.954
Belo Horizonte	1.956	1.952	2.094	949	1.173	606	312	584	588	777	445	365	393	1.776	1.759	1.956	2.360	2.157	2.005	1.889	2.002	3.201	1.977
São Gonçalo	2.347	2.343	2.486	791	1.403	769	107	465	446	630	457	342	581	2.035	2.027	2.355	2.753	2.509	2.338	2.269	2.378	3.445	2.248
Campos dos Goytacazes	2.240	2.235	2.380	1.042	1.201	546	289	700	683	872	219	119	387	1.819	1.814	2.207	2.730	2.345	2.160	2.140	2.242	3.581	2.035
Santo Antônio de Pádua	2.195	2.191	2.335	962	1.210	575	202	617	601	795	273	155	388	1.841	1.833	2.239	2.654	2.330	2.153	2.105	2.211	3.476	2.054
de Pádua	2.189	2.185	2.329	1.022	1.158	520	254	668	652	847	220	103	335	1.787	1.779	2.215	2.636	2.283	2.104	2.064	2.169	3.494	2.000
Bacabal	45	50	2.067	2.738	1.359	1.875	2.308	2.485	2.490	2.628	2.135	2.174	1.921	1.533	1.299	571	956	671	825	275	318	3.012	1.315
Trizidela do Vale	0	5	140	2.332	1.315	1.830	2.268	2.448	2.453	2.592	2.091	2.131	1.877	1.318	1.264	582	982	658	800	242	299	3.021	1.285
Pedreiras	5	0	145	2.729	1.310	1.825	2.263	2.444	2.449	2.589	2.086	2.126	1.872	1.313	1.259	585	986	655	796	238	296	3.024	1.280
Meatim	2.732	2.729	2.860	0	2.860	1.446	1.970	2.406	2.586	2.722	2.231	2.271	2.018	1.409	1.355	593	936	676	855	336	344	3.028	1.357
União da Vitória	2.885	2.883	3.010	240	0	2.872	1.2	2.872	2.872	1.117	1.235	1.117	1.303	2.725	2.708	2.568	2.868	3.046	2.919	2.719	2.840	3.002	2.925
São José dos Pinhais	2.743	2.740	2.872	0	2.872	1.521	788	367	377	181	1.242	1.124	1.311	2.734	2.717	2.579	2.879	3.057	2.930	2.750	2.851	3.008	2.934
Sinões Filho	1.315	1.310	1.446	2.076	0	664	1.371	1.721	1.714	1.908	993	1.083	823	649	632	1.651	2.132	1.972	982	1.130	1.198	3.702	851
Novo Vespasiano	1.830	1.825	1.970	1.513	664	0	761	1.157	1.145	1.342	331	432	215	1.272	1.268	2.012	2.473	1.842	1.640	1.693	1.783	3.667	1.489
Valença	2.268	2.263	2.406	761	1.371	761	0	415	399	593	474	356	559	2.011	2.000	2.260	2.653	2.452	2.289	2.197	2.308	3.344	2.220
Igrejinha	2.448	2.444	2.580	592	1.721	1.157	415	0	22	185	888	771	945	2.370	2.353	2.340	2.681	2.720	2.583	2.415	2.534	3.083	2.571
Sinões Filho	2.453	2.449	2.586	369	1.714	1.145	399	22	0	197	873	755	934	2.362	2.346	2.350	2.694	2.720	2.581	2.418	2.536	3.105	2.565
Eldorado	2.592	2.589	2.722	173	1.905	1.342	993	185	197	0	1.067	949	1.130	2.553	2.536	2.453	2.773	2.887	2.756	2.570	2.690	3.055	2.754
Vila Velha	2.091	2.086	2.231	1.235	993	331	474	888	873	1.067	0	118	215	1.603	1.599	2.206	2.646	2.155	1.962	1.975	2.073	3.639	1.819
Cachoeira de Imbuém	2.131	2.126	2.271	1.117	1.083	432	356	771	755	949	118	0	269	1.703	1.698	2.215	2.645	2.227	2.041	2.026	2.128	3.565	1.918
Barra de São Francisco	1.877	1.872	2.018	1.303	823	215	559	945	934	1.130	215	269	0	1.455	1.446	1.996	2.440	1.958	1.774	1.764	1.864	3.513	1.667
Barreiros	1.316	1.313	1.409	2.725	649	1.272	2.011	2.370	2.562	2.653	1.605	1.703	1.455	0	54	1.822	2.279	980	624	1.078	1.076	4.118	221
Palmeiras	1.249	1.245	1.385	2.717	632	1.268	2.000	2.350	2.546	2.636	1.596	1.696	1.455	54	1.807	2.225	2.678	983	578	1.024	1.023	4.118	221
Marabá	582	585	638	2.759	1.651	2.012	2.660	2.840	2.930	3.020	1.596	1.696	1.455	54	1.807	2.225	2.678	983	578	1.024	1.023	4.118	221
Altamira	982	986	976	2.868	2.879	1.132	2.473	2.653	2.681	2.694	2.646	2.645	2.440	2.279	2.225	481	0	1.613	1.240	1.368	804	881	2.441
Amomada	658	655	676	3.046	3.057	1.197	1.842	2.452	2.720	2.887	2.155	2.227	1.958	880	834	1.240	1.613	0	1.613	1.272	1.272	2.163	2.264
Morada Nova	800	796	855	2.919	2.930	1.640	2.389	2.853	2.581	1.962	1.962	2.041	1.774	624	578	1.368	1.780	257	0	564	512	3.678	758
Teresina	242	238	336	2.719	2.888	1.130	1.693	2.197	2.415	2.418	2.570	2.026	1.764	1.078	1.024	884	1.223	459	564	0	126	3.230	1.042
Barna	299	304	344	2.800	2.851	1.198	1.783	2.308	2.534	2.536	2.600	2.128	1.864	1.076	1.023	881	1.272	360	812	126	0	3.318	1.014
Rio Branco	3.024	3.028	3.169	3.081	3.028	3.067	3.344	3.083	3.105	3.059	3.659	3.565	3.313	4.118	4.007	2.441	2.716	3.608	3.782	3.230	3.318	0	4.181
Jato Pessoa	3.130	3.126	3.267	3.145	3.091	3.144	3.428	3.168	3.186	3.144	3.842	3.746	3.585	4.319	4.202	2.648	2.923	4.042	3.952	3.692	3.782	0	4.181
Mossoró	931	927	985	2.870	2.880	981	1.645	2.319	2.625	2.884	1.972	2.056	1.791	539	560	1.499	1.912	357	132	696	642	3.989	400

**APÊNDICE C – CUSTO DE TRANSPORTE ENTRE  
ARCOS DA REDE**

Tabela 35 – Custo de transporte entre os 17 candidatos a depósitos.

(R\$/tund)	Rio Branco	Manaus	Belém	Salvador	Fortaleza	São Luís	João Pessoa	Recife	Teresina	Natal	Vitória	Belo Horizonte	Rio de Janeiro	São Paulo	Curitiba	Porto Alegre	Florianópolis
Rio Branco	0,00	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13
Manaus	26,66	0,00	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13
Belém	60,13	60,13	0,00	60,13	26,66	11,49	26,66	26,66	26,66	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13
Salvador	60,13	60,13	26,66	0,00	26,66	26,66	26,66	26,66	26,66	26,66	26,66	26,66	26,66	26,66	26,66	26,66	60,13
Fortaleza	60,13	60,13	26,66	26,66	0,00	26,66	11,49	11,49	11,49	11,49	26,66	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13
São Luís	60,13	26,66	11,49	26,66	26,66	0,00	26,66	26,66	11,49	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13
João Pessoa	60,13	60,13	26,66	26,66	11,49	26,66	0,00	7,47	26,66	7,47	26,66	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13
Recife	60,13	60,13	26,66	26,66	11,49	26,66	7,47	0,00	26,66	7,47	26,66	26,66	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13
Teresina	60,13	26,66	26,66	26,66	11,49	11,49	26,66	26,66	0,00	26,66	26,66	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13
Natal	60,13	60,13	26,66	26,66	11,49	26,66	7,47	7,47	26,66	0,00	26,66	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13
Vitória	60,13	60,13	60,13	26,66	26,66	60,13	26,66	26,66	26,66	26,66	0,00	11,49	11,49	26,66	26,66	26,66	26,66
Belo Horizonte	60,13	60,13	60,13	26,66	26,66	60,13	26,66	26,66	26,66	26,66	11,49	0,00	11,49	11,49	26,66	26,66	26,66
Rio de Janeiro	60,13	60,13	60,13	26,66	60,13	60,13	60,13	26,66	60,13	60,13	11,49	11,49	0,00	11,49	26,66	26,66	26,66
São Paulo	60,13	60,13	60,13	26,66	60,13	60,13	60,13	26,66	60,13	60,13	26,66	11,49	11,49	0,00	11,49	26,66	11,49
Curitiba	60,13	60,13	60,13	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66	26,66	26,66	11,49	0,00	11,49	7,47
Porto Alegre	60,13	60,13	60,13	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66	26,66	26,66	26,66	11,49	0,00	11,49
Florianópolis	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66	26,66	26,66	11,49	7,47	11,49	0,00

Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 36 – Custos de transporte entre os depósitos (n) e os centros de auxílio (m).

W-RC	Munus	Tefe	Cacero da Yáreza	Lábaca	Mauacapuru	Montenegro	Igrejinha	Eldorado do Sul	São Jerônimo	Novo Hamburgo	Blumenau	Itajaí	Joinville	Rio do Sul	São José	Minicú	Governador Valadares	Caramujá	Belo Horizonte	São Gonçalo	Campo das Cascaçocas	Santo Antônio de Pádua	Itapemuna	Bacabal	Trizidela do Vale			
Munus	0,00	11,49	4,09	26,66	7,47	60,13	7,47	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66	
Petro Alegre	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Florianópolis	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Belo Horizonte	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Rio de Janeiro	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Curitiba	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Salvador	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
São Paulo	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Vitória	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Recife	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Porto Alegre	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Feijó	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Porto Velho	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Teresina	26,66	26,66	26,66	60,13	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	7,47
Rio Branco	26,66	26,66	26,66	60,13	26,66	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	7,47
Jolo Pessoa	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66
Natal	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	60,13	26,66









## APÊNDICE D – TABELAS DE VARIAÇÕES DO ORÇAMENTO

Tabela 40 – Distribuição dos depósitos instalados para cada variação do orçamento.

Depósitos candidatos a instalar	$\beta_t$	$80\%\beta_t$	$60\%\beta_t$	$40\%\beta_t$	$20\%\beta_t$	$10\%\beta_t$
Manaus		⊙				
Porto Alegre						
Florianópolis						
Belo Horizonte	⊙					
Rio de Janeiro						
São Luís	⊙	⊙	⊙	⊙		
Curitiba						
Salvador						
São Paulo						
Vitória						
Recife						
Belém						
Fortaleza						
Teresina	⊙	⊙	⊙	⊙		
Rio Branco						
João Pessoa	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Natal	⊙		⊙	⊙		

O símbolo ⊙ refere-se à instalação do depósito. Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 41 – Distribuição dos centros de auxílio abertos/operando para cada variação do orçamento.

Centros de auxílio candidatos instalar/operar	$\beta_t$	80% $\beta_t$	60% $\beta_t$	40% $\beta_t$	20% $\beta_t$	10% $\beta_t$	Centros de auxílio candidatos instalar/operar	$\beta_t$	80% $\beta_t$	60% $\beta_t$	40% $\beta_t$	20% $\beta_t$	10% $\beta_t$
Manaus	⊙	⊙					Pedreiras	⊙	⊙				
Tefé		⊙					Vitória do Mearim	⊙	⊙	⊙			
Careiro da Várzea	⊙	⊙			⊙		Pinhais	⊙					
Lábrea	⊙						União da Vitória	⊙					
Manacapuru	⊙	⊙					São José dos Pinhais	⊙	⊙			⊙	
Montenegro	⊙						Simões Filho	⊙	⊙				
Igrejinha	⊙						Nova Viçosa						
Eldorado do Sul		⊙			⊙		Valença	⊙					
São Jerônimo	⊙						Itapevi	⊙					
Novo Hamburgo	⊙	⊙					Taboão da Serra	⊙	⊙		⊙		⊙
Blumenau							Eldorado	⊙					
Itajaí	⊙						Vila Velha						
Joinville	⊙						Cachoeiro de Itapemirim	⊙					
Rio do Sul	⊙						Barra de São Francisco	⊙					
São José	⊙				⊙		Barreiros			⊙	⊙	⊙	
Muriáe	⊙						Palmares		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Governador Valadares							Marabá	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Carangola	⊙						Altamira	⊙					
Belo Horizonte	⊙						Amontada			⊙	⊙	⊙	
São Gonçalo	⊙						Morada Nova						
Campos dos Goytacazes							Teresina	⊙	⊙	⊙	⊙		
Santo Antônio de Pádua	⊙						Barras	⊙	⊙	⊙			
Itaperuna	⊙						Rio Branco	⊙	⊙				
Bacabal	⊙	⊙			⊙		João Pessoa	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Trizidela do Vale	⊙	⊙			⊙		Mossoró	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	

O símbolo ⊙ refere-se a abertura/operação do centro de auxílio. Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 42 – Nível de serviço das áreas afetadas variando o orçamento.

Municípios (áreas afetadas)	Classificação da vulnerabilidade	$\beta_t$	$80\% \beta_t$	$60\% \beta_t$	$40\% \beta_t$	$20\% \beta_t$	$10\% \beta_t$
Manaus	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	45.85%	12.16%	12.16%
Tefé	Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	40.52%	0.00%	0.00%	0.00%
Careiro da Várzea	Muito-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	34.16%	34.16%
Lábrea	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	52.30%	18.28%
Manacapuru	Média-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	49.30%	46.42%	20.00%
Montenegro	Média-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	65.22%	16.22%	16.22%
Igrejinha	Média-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	24.62%	24.62%	1.97%	1.97%
Eldorado do Sul	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	99.91%
São Jerônimo	Média-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	58.01%	16.86%
Novo Hamburgo	Média-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	23.56%	23.56%
Blumenau	Média-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	25.06%	3.15%	3.15%	3.15%	3.15%
Itajaí	Média-Alta Vulnerabilidade	100.00%	66.97%	10.57%	10.57%	10.57%	2.65%
Joinville	Média Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	30.44%	30.44%	12.09%
Rio do Sul	Média-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	17.08%	17.08%	3.58%
São José	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	39.62%	39.62%
Muriaé	Muito-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	0.46%	0.46%	0.46%	0.46%	0.46%
Governador Valadares	Muito-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	8.35%	8.35%	8.35%	8.35%	8.35%
Carangola	Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	18.31%	1.98%
Belo Horizonte	Muito-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	0.16%
São Gonçalo	Baixa Vulnerabilidade	100.00%	1.58%	1.58%	1.58%	1.58%	1.58%
Campos dos Goytacazes	Média-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	31.59%	31.59%	10.19%
Santo Antônio de Pádua	Média-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	22.75%	22.75%
Itaperuna	Muito-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	46.70%	23.39%	7.28%
Bacabal	Média-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	9.91%	9.91%
Trizidela do Vale	Média-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	19.99%	19.99%
Pedreiras	Média-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	40.78%
Vitória do Mearim	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%
Pinhais	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	0.97%	0.97%	0.97%
União da Vitória	Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	30.62%	30.62%	7.05%	7.05%
São José dos Pinhais	Média-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Simões Filho	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	5.82%	5.82%	5.82%	5.82%
Nova Viçosa	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	46.72%	15.54%	0.00%
Valença	Média-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	27.04%	27.04%	0.00%
Itapevi	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	6.52%	6.52%	6.52%	6.52%
Taboão da Serra	Muito-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Eldorado	Muito-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	9.22%	9.22%
Vila Velha	Média-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	51.20%	30.49%	8.95%
Cachoeiro de Itapemirim	Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	31.55%	22.14%	8.72%
Barra de São Francisco	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	23.01%
Barreiros	Média Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	36.82%	100.00%	0.00%	0.00%
Palmares	Média-Baixa Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Marabá	Muito-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Altamira	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	40.69%
Amontada	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	0.71%
Morada Nova	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	0.00%
Teresina	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	15.75%	15.75%
Barras	Média Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	11.42%	11.42%	11.42%
Rio Branco	Média-Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	8.17%	8.17%
João Pessoa	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	15.43%	15.43%	15.43%	0.00%
Mossoró	Alta Vulnerabilidade	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	56.23%	2.84%

Fonte. Elaboração Própria.

Tabela 43 – Unidades de produtos emergenciais preposicionado e comprados para cada variação do orçamento.

% Variações Orçamento- $\beta_t$	$\beta_t$		80% $\beta_t$		60% $\beta_t$	
	Preposicionamento (Und)	Compra (Und).	Preposicionamento (Und)	Compra (Und).	Preposicionamento (Und)	Compra (Und).
Kit Água Mineral	0	839.435	0	671.732	0	504.467
Kit Cesta de Alimentos	188.140	21.728	167.564	378	126.108	18
Kit Colchão	0	839.435	0	671.732	0	504.467
Kit Dormitório	1.852	837.583	14.318	657.414	4.401	500.067
Kit Limpeza	188.140	21.728	167.564	378	126.108	18
Kit Higiene Pessoal	188.140	21.728	166.903	1.039	126.108	18
<b>Total</b>	<b>566.272</b>	<b>2.581.636</b>	<b>516.349</b>	<b>2.002.673</b>	<b>382.725</b>	<b>1.509.055</b>
% Variações Orçamento- $\beta_t$	40% $\beta_t$		20% $\beta_t$		10% $\beta_t$	
	Preposicionamento (Und)	Compra (Und).	Preposicionamento (Und)	Compra (Und).	Preposicionamento (Und)	Compra (Und)
Kit Água Mineral	0	336.292	0	168.038	0	84.066
Kit Cesta de Alimentos	84.065	17	41.497	518	21.006	15
Kit Colchão	0	336.292	0	168.038	0	84.066
Kit Dormitório	13.405	322.886	0	168.038	14.090	69.976
Kit Limpeza	84.065	17	15.859	26.156	21.006	15
Kit Higiene Pessoal	84.065	17	38.387	3.628	21.006	15
<b>Total</b>	<b>265.601</b>	<b>995.521</b>	<b>95.743</b>	<b>534.416</b>	<b>77.108</b>	<b>238.153</b>

Fonte. Elaboração Própria.





## APÊNDICE E – ESTRATÉGIA DE AQUISIÇÃO PURA

Tabela 44 – Unidades de cada produto emergencial compradas em cada centro de auxílio.

Centros de Auxílio abertos/operando	Unidades de produto compradas nos centros de auxílio						
	Kit Água Mineral	Kit Cesta de Alimentos	Kit Colchão	Kit Dormitório	Kit Higiene Pessoal	Kit Limpeza	Total Geral
Manaus	21.003	5.251	21.003	21.003	5.251	5.251	78.762
Tefé	21.292	5.323	21.292	21.292	5.323	5.323	79.845
Careiro da Várzea	12.489	3.123	12.489	12.489	3.123	3.123	46.836
Lábrea	16.098	4.025	16.098	16.098	4.025	4.025	60.368
Manacapuru	16.915	4.229	16.915	16.915	4.229	4.229	63.432
Montenegro	24.849	6.212	24.849	24.849	6.212	6.212	93.183
Igrejinha	21.594	5.398	21.594	21.594	5.398	5.398	80.977
Eldorado do Sul	5.620	1.405	5.620	5.620	1.405	1.405	21.075
São Jerônimo	11.147	2.786	11.147	11.147	2.786	2.786	41.799
Novo Hamburgo	14.754	3.690	14.754	14.754	3.690	3.690	55.332
Blumenau	71.172	17.793	71.172	71.172	17.793	17.793	266.895
Itajaí	48.023	12.006	48.023	48.023	12.006	12.006	180.088
Joinville	18.285	4.571	18.285	18.285	4.571	4.571	68.567
Rio do Sul	21.477	5.369	21.477	21.477	5.369	5.369	80.538
São José	9.516	2.380	9.516	9.516	2.380	2.380	35.688
Muriaé	20.369	5.093	20.369	20.369	5.093	5.093	76.385
Governador Valadares	15.756	3.939	15.756	15.756	3.939	3.939	59.085
Carangola	9.803	2.451	9.803	9.803	2.451	2.451	36.762
Belo Horizonte	4.690	1.173	4.690	4.690	1.173	1.173	17.587
São Gonçalo	65.182	16.297	65.182	65.182	16.297	16.297	244.437
Campos dos Goytacazes	13.209	3.303	13.209	13.209	3.303	3.303	49.537
Santo Antônio de Pádua	8.989	2.247	8.989	8.989	2.247	2.247	33.708
Itaperuna	11.488	2.872	11.488	11.488	2.872	2.872	43.080
Bacabal	8.867	2.217	8.867	8.867	2.217	2.217	33.251
Trizidela do Vale	7.470	1.867	7.470	7.470	1.867	1.867	28.010
Pedreiras	7.219	1.805	7.219	7.219	1.805	1.805	27.072
Vitória do Mearim	10.327	2.582	10.327	10.327	2.582	2.582	38.727
Pinhais	14.082	3.520	14.082	14.082	3.520	3.520	52.806
União da Vitória	18.672	4.670	18.672	18.672	4.670	4.670	70.027
São José dos Pinhais	3.930	982	3.930	3.930	982	982	14.736
Simões Filho	26.545	6.636	26.545	26.545	6.636	6.636	99.543
Nova Viçosa	24.505	6.126	24.505	24.505	6.126	6.126	91.892
Valença	13.518	3.380	13.518	13.518	3.380	3.380	50.693
Itapevi	27.450	6.863	27.450	27.450	6.863	6.863	102.938
Taboão da Serra	2.913	728	2.913	2.913	728	728	10.924
Eldorado	9.775	2.444	9.775	9.775	2.444	2.444	36.656
Vila Velha	31.521	7.881	31.521	31.521	7.881	7.881	118.206
Cachoeiro de Itapemirim	11.173	2.794	11.173	11.173	2.794	2.794	41.903
Barra de São Francisco	6.859	1.714	6.859	6.859	1.714	1.714	25.719
Barreiros	14.820	3.705	14.820	14.820	3.705	3.705	55.576
Palmares	9.036	2.259	9.036	9.036	2.259	2.259	33.886
Marabá	6.384	1.597	6.384	6.384	1.597	1.597	23.943
Altamira	6.047	1.512	6.047	6.047	1.512	1.512	22.677
Amontada	4.352	1.087	4.352	4.352	1.087	1.087	16.317
Morada Nova	3.348	837	3.348	3.348	837	837	12.555
Teresina	17.051	4.263	17.051	17.051	4.263	4.263	63.942
Barras	11.867	2.967	11.867	11.867	2.967	2.967	44.502
Rio Branco	16.371	4.093	16.371	16.371	4.093	4.093	61.393
João Pessoa	26.221	6.555	26.221	26.221	6.555	6.555	98.326
Mossoró	15.393	3.848	15.393	15.393	3.848	3.848	57.723
<b>Total Unidades Compradas</b>	<b>839.435</b>	<b>209.868</b>	<b>839.435</b>	<b>839.435</b>	<b>209.868</b>	<b>209.868</b>	<b>3.147.909</b>

Fonte. Elaboração Própria.