FILIPPE AÉCIO ALVES DE ANDRADE SANTOS

**Otimização visual interativa com múltiplos critérios: sistema de apoio à decisão
para treinamento em logística humanitária**

São Paulo
2021

FILIPPE AÉCIO ALVES DE ANDRADE SANTOS

**Otimização visual interativa com múltiplos critérios: sistema de apoio à decisão
para treinamento em logística humanitária**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

São Paulo
2021

FILIPPE AÉCIO ALVES DE ANDRADE SANTOS

**Otimização visual interativa com múltiplos critérios: sistema de apoio à decisão
para treinamento em logística humanitária**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador: Prof. Dr. Hugo T. Y. Yoshizaki

São Paulo
2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 17 de março de 21

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Catálogo na publicação

Santos, Filipe A A de A.

Otimização visual interativa com múltiplos critérios: sistema de apoio à decisão para treinamento em logística humanitária. 2021. 118p.

Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Logísticos – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Versão corrigida.

1.Logística Humanitária 2.Localização de instalações 3.Sistemas de Suporte a Decisão 4.Otimização visual interativa 5.Colaboração entre agências humanitárias.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) com uma bolsa de mestrado concedida ao autor pelo Programa de Demanda Social e através do Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Desastres Naturais (Pró-Alertas) com o processo 88887.123913/2015.

O presente trabalho também foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) com os processos nº 2018/10394-0 e nº 2017/20649-2. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do autor e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

RESUMO

Santos, Filipe A A de A. **Otimização visual interativa com múltiplos critérios: sistema de apoio à decisão para treinamento em logística humanitária.** 2021. 118p. Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

A localização de armazéns é um dos desafios para a realização de uma operação de resposta eficiente e eficaz ao desastre. O gerenciamento de desastres começou a ser um importante tema de pesquisa nos últimos anos. Mas essas pesquisas e seus resultados na maioria das vezes não são utilizados nas operações humanitárias. Modelos matemáticos desenvolvidos por pessoas distantes da operação e a falta de conhecimento em modelos matemáticos são apontados como algumas das causas deste problema. A realização de treinamentos e a utilização de ferramentas visuais para interação com modelos podem ajudar na compreensão de modelos matemáticos e, conseqüentemente, aumentar seu uso em operações reais. Este trabalho desenvolveu um sistema de otimização visual interativa com múltiplos critérios para treinamento em logística humanitária com o objetivo de melhorar a compreensão de conceitos complexos por agentes logísticos atuantes em operações humanitárias. O problema em estudo e o modelo matemático foram desenvolvidos em conjunto com especialistas em operações humanitárias para que fossem consistentes com a realidade. O sistema desenvolvido possui ferramentas visuais intuitivas a fim de tornar acessíveis os modelos e análises complexas do problema. O produto final fruto desta pesquisa possui código aberto e está disponível para uso, modificação e aprimoramento pela comunidade interessada.

Palavras chave: Treinamento. Logística Humanitária. Localização de instalações. Sistemas de Suporte a Decisão. Otimização visual interativa. Colaboração entre agências humanitárias.

ABSTRACT

Santos, Filipe A A de A. **Interactive visual optimization with multiple criteria: a decision support system for training in humanitarian logistics**. 2021. 118p. Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

The location of warehouses is one of the challenges for carrying out an efficient and effective disaster response operation. Disaster management has started to be an important research topic in recent years. But these surveys and their results are most often not used in humanitarian operations. Mathematical models developed by people far from the operation and the lack of knowledge in mathematical models are pointed out as some of the causes for this problem. The realization of training and employment of visual tools to interact with models can help in the understanding of mathematical models and consequently increase their use in real operations. This work developed an interactive visual optimization system with multiple criteria for training in humanitarian logistics in order to improve the understanding of complex concepts by logistics agents working in humanitarian operations. The problem under study and the mathematical model were jointly developed with specialists in humanitarian operations so that they were consistent with reality. The system has intuitive visual tools in order to make accessible both the model and their complex analysis of the problem. The final product resulting from this research is open source and is available for use, modification and improvement by the interested community.

Keywords: Training. Humanitarian logistics. Facility location. Decision support system. Interactive visual optimization. Collaboration between humanitarian agencies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais eventos entre a tomada de Mossul e sua retomada	20
Figura 2 - Deslocamento esperado das pessoas fugidas de Mossul	21
Figura 3 - Fluxo percorrido pelas IDP desde Mosul até as áreas seguras.....	22
Figura 4 - Variação dos diferentes custos em um problema de localização	32
Figura 5 – Palavras-chave utilizadas nas buscas	36
Figura 6 - Resultados sobre tipo de pesquisa e métodos de solução.....	37
Figura 7 - Resultados sobre causa e tipos de início dos desastres	38
Figura 8 – Resultados sobre os objetivos dos modelos.....	39
Figura 9 - Exemplo de função de valor	41
Figura 10 - Visão esquemática de um sistema de suporte a decisão	42
Figura 11 - Etapas do desenvolvimento do SSD	46
Figura 12 - Estrutura do sistema.....	47
Figura 13 - Exemplo de operações ocorridas durante o problema em estudo.....	53
Figura 14 - Objetivos do modelo.....	56
Figura 15 - Exemplos ilustrativo de unidades de armazenagem móveis	58
Figura 16 - Variação da ocupação, disponibilidade e planejamento dos campos no decorrer dos meses em milhares de famílias	61
Figura 17 - Mapa com os principais pontos do modelo. Na imagem são mostrados os campos da três agências (círculos com fundo azul, rosa e verde), as cidades candidatas (fundo amarelo), o caminho de entrega para o campo selecionado (arcos azuis) e os checkpoints, onde os arcos são interrompidos (arcos vermelhos). No fundo é exibido o mapa da região de Mossul.....	64
Figura 18 - Esquema ilustrativo do modelo.....	68
Figura 19 - Pontos de gargalo da instância de estudo (em vermelho).....	73
Figura 20 - Gráfico do tempo de processamento com a variação dos pesos	74
Figura 21 – Gráfico do tempo de entrega máximo com a variação dos pesos	75
Figura 22 – Gráfico dos custos totais com a variação dos pesos	76
Figura 23 - O autor interage via <i>touchscreen</i> com versão anterior de um SSD no CISLOG/USP.....	79

Figura 24 - Tela de abertura do sistema.....	80
Figura 25 - Tela principal do sistema	81
Figura 26 - Funcionalidades do sistema (conforme Tabela 13).....	82
Figura 27 - Detalhe da indicação do modo do sistema.....	83
Figura 28 - Detalhes do menu principal (vide texto principal).....	83
Figura 29 - Árvore de critérios e peso dos objetivos	85
Figura 30 – Lista dos locais candidatos.....	87
Figura 31 - Tabela resumo dos cenários gerados	89
Figura 32 – Mapa do cenário atual.....	91
Figura 33 - Mapa do cenário favorito (à direita).....	93
Figura 34 - Gráficos comparativos	94
Figura 35 - Gráficos de barra	94
Figura 36 - Configuração dos pontos de gargalo	95
Figura 37 - Mapa com os principais pontos do modelo.	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos de classificação dos desastres	29
Tabela 2 - Exemplo de objetivo quantitativo.....	41
Tabela 3 - Lista de suprimentos utilizada no modelo	54
Tabela 4 - Cidades que atendem os critérios estabelecidos para lugares candidatos ...	57
Tabela 5 - Opções de armazéns de alvenaria.....	59
Tabela 6 - Opções de configurações de MSU.....	59
Tabela 7 - Campos de internamente deslocados utilizados no modelo.....	62
Tabela 8 - Conjuntos utilizados no modelo.....	68
Tabela 9 - Parâmetros que são determinados pelo usuário	68
Tabela 10 – Variáveis utilizadas no modelo	69
Tabela 11 - Parâmetros fixos utilizados no modelo	69
Tabela 12 - Limites mínimos e máximos dos valores dos objetivos	72
Tabela 13 - Descrição dos módulos do sistema e área utilizada da tela	82
Tabela 14 - Opções de armazéns de alvenaria	116
Tabela 15 - Opções de configurações de MSU	116
Tabela 16 - Campos de internamente deslocados utilizados no modelo.....	118

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 MOTIVAÇÃO E SEU CONTEXTO	19
1.2 IMPORTÂNCIA DA LOGÍSTICA HUMANITÁRIA	22
1.3 OBJETIVO DO TRABALHO	26
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	27
2 REVISÃO DA LITERATURA	28
2.1 DESASTRES E LOGÍSTICA HUMANITÁRIA.....	28
2.2 LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS.....	31
2.3 PESQUISAS DE LOCALIZAÇÃO EM LOGÍSTICA HUMANITÁRIA.....	35
2.4 ANÁLISES COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS.....	39
2.5 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO.....	42
2.6 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	44
3 METODOLOGIA	45
4 DESCRIÇÃO DO CASO APLICADO E COLETA DE DADOS.....	49
4.1 A PROBLEMÁTICA DO CASO	50
4.2 REDES LOGÍSTICAS E SUPRIMENTOS	53
4.3 OBJETIVOS DO CASO.....	55
4.4 LOCAIS CANDIDATOS.....	56
4.5 TIPOS DE ARMAZÉNS.....	57
4.6 LOCALIZAÇÃO DOS CAMPOS E DEMANDAS	59
4.7 PONTOS DE GARGALO.....	63
4.8 TIPOS DE CAMINHÕES E FRETE	63
4.9 DISTÂNCIAS E GRAFO.....	64
4.10 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CASO	65
5 MODELO MATEMÁTICO	67
5.1 DESCRIÇÃO DO MODELO	67
5.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.....	72
5.3 ESTUDO DOS RESULTADOS DO MODELO DE UMA INSTÂNCIA-TESTE	73
6 O SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO.....	77

6.1 CONTEXTO PARA APLICAÇÃO DO SISTEMA.....	77
6.2 DESCRIÇÃO GERAL DO SSD	79
6.3 MENU PRINCIPAL (MÓDULO 1)	83
6.4 ÁRVORE DE CRITÉRIOS E PESO DOS OBJETIVOS (MÓDULO 2)	85
6.5 LISTA DOS LOCAIS CANDIDATOS (MÓDULO 3).....	86
6.6 INICIAR OTIMIZAÇÃO (MÓDULO 4)	88
6.7 TABELA RESUMO DOS CENÁRIOS GERADOS (MÓDULO 5)	88
6.8 MAPA DO CENÁRIO ATUAL (MÓDULO 6)	89
6.9 MAPA DO CENÁRIO FAVORITO (MÓDULO 7).....	92
6.10 GRÁFICOS COMPARATIVOS (MÓDULO 8)	93
6.11 CONFIGURAÇÃO DOS PONTOS DE GARGALO	94
6.12 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O SISTEMA.....	95
7 CONCLUSÃO E FUTUROS PASSOS	97
7.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	99
REFERÊNCIAS	101
ANEXO 1: ARTIGOS ESTUDADOS NA REVISÃO DA LITERATURA	106
ANEXO 2 – ESTUDO DE CASO (INICIAL).....	115

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO E SEU CONTEXTO

Em 2014, uma das maiores cidades do Iraque, Mossul, foi tomada pelo autoproclamado Estado Islâmico (EI) e declarada como sua capital (BBC, 2017). O discurso do autoproclamado califa (Al-Baghdadi) na mesquita de Al-Nuri foi um dos grandes momentos da expansão do EI no Oriente Médio. Após esse fato, era esperado uma contraofensiva do Iraque, juntamente com a coalizão liderada pelos EUA, para a retomada de Mossul. Essa contraofensiva resultaria em muitas pessoas necessitando de assistência humanitária (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016).

Quando conflitos armados, situações de violência generalizada, violação dos direitos humanos, desastres naturais ou causados pelo homem fazem pessoas ou grupos de pessoas deixarem ou fugirem de suas casas sem cruzar uma fronteira internacionalmente reconhecida, como no caso de refugiados, o Alto Comissariado das Nações Unidas para os Refugiados as define como deslocados internos (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2001). O Iraque possuía, em 2016, mais de 10 milhões de pessoas que precisavam de ajuda humanitária; entre elas havia mais de 3 milhões de deslocados internos, devido ao conflito entre grupos armados, principalmente do EI, e forças do governo (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016).

Era esperado que a operação humanitária em Mossul fosse a maior e mais complexa operação de ajuda realizada pelas organizações globais em 2016, sendo dividida em 4 grandes eixos: (i) ajuda aos civis que precisavam cruzar áreas militares; (ii) o transporte de famílias por centenas de quilômetros até áreas seguras; (iii) operações complexas nas proximidades da fronteira com a Síria; (iv) e o suporte às famílias alocadas em centenas de campos, centros de transição e campos de recepção (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016).

Um número de cenários foi desenhado em trabalho conjunto do governo local e da comunidade humanitária, composta por ONGs, doadores e agências da ONU. No pior cenário considerado, assim que a operação de Mossul começasse, até 1,5 milhões de pessoas seriam afetadas e necessitariam de assistência. Os custos estimados para a preparação da operação eram de US\$ 284 milhões e os custos totais no pior cenário seriam em torno de US\$ 1,8 bilhões (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016).

Cerca de 230 mil civis, sendo 85 mil de Fallujah, já haviam sido forçados a deixar suas casas em busca de lugares seguros com as operações militares em Anbar e Mossul. Era esperado que, quando a operação para retomada de Mossul se intensificasse, mais 230 mil pessoas deixassem cidades na província de Anbar e mais de 660 mil vindas ao longo do corredor de Mossul (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016). A Figura 1 apresenta os principais eventos ocorridos na região de Mossul desde sua ocupação pelo EI.

Fonte: Adaptado de (International Organization for Migration - Iraq Mission, 2018) e (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016)

A crise proporcionada pela operação para a retomada de Mossul, apesar de poder ser classificada como de início súbito, não foi inesperada. Devido à estrutura de coordenação entre o governo, os militares e as organizações humanitárias, as ações foram planejadas

mantendo, na medida do possível, todas as partes interessadas informadas dos aspectos da operação. Um exemplo disso é a distribuição de avisos à população de Mossul sobre a operação militar que fora acelerada após a reconquista da cidade de Falujah em junho de 2016 (Figura 2).

Figura 2 - Deslocamento esperado das pessoas fugidas de Mossul

Fonte: (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016, tradução nossa)

A comunidade humanitária atuante na resposta ao problema estimava que o número de pessoas que necessitariam de abrigo, por não terem familiares ou outros meios de acomodação, seria por volta de 700 mil. Não se sabia na época se essa movimentação aconteceria gradativamente ao longo do tempo ou em massa e repentinamente. Conforme a Figura 2, eram esperados deslocamentos por todas as direções, inclusive por áreas ainda controladas pelo EI. Na mesma figura estão indicados os possíveis lugares estabelecidos pelo governo para a abertura de novos campos (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016). Os campos eram abertos em locais determinados pelo governo iraquiano sem a participação de outras organizações. Um novo campo normalmente era aberto apenas após a lotação de um campo já aberto, pois o serviço de registro de novas famílias demandava grande carga de trabalho, além de exigir precauções de segurança. Por isso se evitava a concretização de campos em diversos locais simultaneamente.

Para garantir a segurança e a organização do fluxo de pessoas, foi estabelecido um procedimento especializado. Os deslocados internos, ao fugirem para áreas seguras, primeiramente deveriam passar por pontos de encontro para revista em busca de armas e explosivos. Após isso, as famílias eram encaminhadas para postos de triagem, onde os membros do gênero masculino eram examinados e era verificado se não eram afiliados ao EI. Por último, as famílias que necessitavam de abrigo eram encaminhadas para campos de IDP (*internally displaced people*, pessoas internamente deslocadas, na sigla em inglês), cuja localização e abertura eram definidos pelo governo iraquiano, e as demais seguiam para casa de familiares em outras vilas e cidades conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxo percorrido pelas IDP desde Mosul até as áreas seguras

Fonte: Autor

As necessidades imediatas das famílias, logo após a ofensiva para retomada de Mossul, eram água, comida, abrigos, saneamento e assistência médica (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016).

1.2 IMPORTÂNCIA DA LOGÍSTICA HUMANITÁRIA

Com o aumento e a gravidade dos desastres, o seu gerenciamento tornou-se importante tema de pesquisa (van Wassenhove, 2006). Atualmente são desenvolvidas inúmeras pesquisas em logística humanitária que envolvem otimização, tomada de decisão e simulação (Boonmee *et al.*, 2017). Mas, segundo Green (2000), esses trabalhos acadêmicos e seus resultados na maioria das vezes não são utilizados na prática nas operações humanitárias.

Um dos fatores que justifica esse fato é a complexidade das operações. Segundo Akhtar *et al.* (2012), durante um desastre, diferentes organizações precisam se unir para atender as necessidades dos afetados e reconstruir a infraestrutura danificada, pois nenhuma organização é capaz de realizar essas atividades sozinha. Por isso, na maioria das operações, a coordenação é necessária. Coordenação pode ser definida como “as relações e interações entre diferentes atores que atuam dentro do ambiente de resposta” (Balcik *et al.*, 2010, p. 23, tradução nossa). Fontainha *et al.* (2015) agrupam os diversos atores de uma operação humanitária em dez categorias:

– Rede de ajuda local;	– Agências regulatórias;
– Doadores;	– Setor privado;
– Rede de ajuda internacional;	– Serviço terceirizado de logística;
– Militares;	– Mídia e
– Governo;	– Beneficiários.

Estes últimos autores descrevem os diferentes papéis de cada um dos atores, ressaltando que os nove primeiros buscam atender as necessidades dos beneficiários. Para Altay e Green (2006), o baixo nível de interação entre os diversos atores nessas operações geram confusões gerenciais e uma definição imprecisa de responsabilidades. As operações de resposta a emergências normalmente necessitam de um planejamento hierárquico e abordagens com múltiplos atributos e critérios que devem considerar as diferentes prioridades dos vários atores antes, durante e depois do desastre.

Gralla (2012), em seu trabalho sobre planejamento de transporte em operações humanitárias, apresenta outros pontos que podem esclarecer a causa do problema apresentado. A autora observou que as formulações matemáticas são desenvolvidas em sua maioria por pessoas diferentes daquelas que irão tomar a decisão. Para o tomador de decisão, se o modelo proposto não considera um ponto que ele julga importante, o modelo e, conseqüentemente, sua solução não farão sentido e ele não será utilizado. A autora conclui que para um modelo poder ser utilizado em problemas reais de logística humanitária um dos pontos principais que devem ser considerados são os objetivos. De acordo com a autora, provar que uma solução é ótima no “mundo dos modelos” não é

suficiente para garantir que ela tenha valor prático, a não ser que a formulação seja consistente com a realidade. Cavalcanti (2015) aponta o mesmo problema da diferença entre os objetivos dos modelos teóricos publicados com os utilizados por tomadores de decisão na prática. Ela também afirma que, se atores envolvidos em ações humanitárias não participam do desenvolvimento dos modelos, eles não poderão ser utilizados eficazmente.

A distância entre a pesquisa acadêmica e a prática não é um problema exclusivo da área humanitária. Corbett e Van Wassenhove (1993) analisaram essa distância na Pesquisa Operacional e perceberam que o principal problema é que os pesquisadores, na maioria das vezes, focam ou no desenvolvimento orientado ao conhecimento, por exemplo buscando desenvolver métodos de solução mais rápidos, ou no desenvolvimento de modelos orientados a problemas, por exemplo estudos de caso; raramente realizam pesquisas em ambas as áreas simultaneamente. Ranyard *et al.* (2015) verificaram que, apesar das sociedades de Pesquisa Operacional estarem se esforçando para solucionar o problema, a distância entre a academia e a prática ainda persiste. Já para Ballou (2007), muitos tomadores de decisão não possuem o conhecimento e as qualificações necessárias para compreender modelos matemáticos de otimização. Para aquele autor, a direção do desenvolvimento de tecnologias em logística deve ser a de facilitar a utilização de modelos, tornando-os mais acessíveis aos tomadores de decisão.

Um outro ponto, observado por Sheffi e Winkenbach (2016) quanto aos diversos atores participantes em uma tomada de decisão, é que os envolvidos normalmente não possuem o mesmo conhecimento técnico, a mesma experiência profissional e o mesmo entendimento do problema. A utilização de modelos complexos e com dados desestruturados pode impedir que profissionais de diferentes áreas, principalmente aqueles não familiarizados com modelos matemáticos, realizem uma contribuição efetiva. Os autores também observaram que os acadêmicos da área logística estão focados em melhorar algoritmos, otimização e modelos que, muitas vezes, não são utilizados em problemas do mundo real por não possuírem interfaces e ferramentas que permitam transformar a teoria em prática.

Esse problema também foi observado pelo presente pesquisador durante o planejamento da operação humanitária que atenderia a população atingida pela ofensiva militar para a retomada da cidade de Mossul no Iraque em 2016. Um dos gestores envolvidos na operação entrou em contato com o Centro de Inovação em Sistemas Logísticos da Universidade de São Paulo (CISLOG-USP) para que auxiliasse no estudo de avaliação de alternativas para instalação de armazéns de socorro, ou seja, um projeto de localização desses armazéns. A urgência levou ao desenvolvimento de um modelo de otimização com critério único (P-medianas com minimização de custos) e que não considerava explicitamente o risco de interrupção de algumas vias de acesso: como não representava adequadamente a realidade, os tomadores de decisão se sentiram desconfortáveis para utilizá-lo.

Em 2019, o CISLOG-USP iniciou uma parceria com o *Logistics Cluster*, uma entidade vinculada ao Programa Alimentar Mundial (WFP – *World Food Program*, na sigla em inglês) da ONU, que fornece suporte de coordenação e gerenciamento de informações em operações de distribuição de alimentos. Esta parceria é voltada para realização de cursos de logística em locais de atuação do *Logistics Cluster*, como o Sudão do Sul e Bangladesh. Os alunos destes treinamentos são, em maioria, gerentes de operações logísticas de organizações locais e internacionais e possuem curso superior. Durante esses treinamentos, pode-se observar a dificuldade no entendimento de modelos e ferramentas matemáticas por parte deles.

Assim, levantou-se o seguinte questionamento, que é o motivador deste trabalho: Como auxiliar os agentes que atuam em operações humanitárias a utilizar as estratégias desenvolvidas com o suporte de modelos matemáticos sofisticados?

Gralla (2012) propõe duas abordagens para responder estes questionamentos. Primeiramente, ela propõe o desenvolvimento de ferramentas de suporte a decisão utilizando modelos matemáticos que se aproximem o máximo possível da realidade. Em seguida, ela sugere o desenvolvimento de treinamentos e ferramentas básicas que

auxiliem os agentes a realizarem da melhor forma as decisões intuitivas baseadas no conhecimento prático. Para a autora, os humanos são capazes de compreender problemas complexos, mas tomam decisões ruins se não utilizarem as ferramentas certas que organizem as informações e busquem soluções ótimas. Na mesma direção, Sheffi e Winkenbach (2016) acreditam que ferramentas visuais podem tornar acessíveis modelos e análises complexas para profissionais de diferentes áreas e que não tenham o background de modelagem matemática.

O problema apresentado por Green (2000), as discussões apresentadas por Gralla (2012) e Sheffi e Winkenbach (2016) e as observações na operação do Iraque e nos treinamentos realizados motivou o estudo e o desenvolvimento de uma ferramenta visual interativa que facilitasse o emprego de modelos de otimização para operadores logísticos atuantes na área humanitária em um contexto de treinamento com estudos de casos. No caso, o foco é o problema de localização de armazéns de material de socorro humanitário solicitado ao CISLOG-USP em resposta à retomada de Mossul em 2016.

1.3 OBJETIVO DO TRABALHO

Com isso, definiu-se como o objetivo principal deste trabalho o desenvolvimento de uma *ferramenta baseada em otimização para suporte a decisão em grupo, interativa e com interfaces visuais para um problema de localização inspirado em operação real para posterior utilização em treinamentos em logística humanitária*. Considerando-se os dados coletados nos cursos ministrados pela equipe do CISLOG-USP, interações com agente logístico do WFP e com pesquisadores da área de logística humanitária, foram definidos os objetivos da ferramenta:

1. Auxiliar na compreensão dos conceitos e modelos envolvidos em um problema de localização de instalações logísticas humanitárias.
2. Mostrar as vantagens e desvantagens de realizar uma operação em conjunto com outras organizações (colaboração e economias de escala).

3. Auxiliar na compreensão do planejamento de uma rede logística em uma área com vias danificadas e/ou com acesso restrito (*tradeoffs* entre custos, nível de serviço e risco).

Foram estabelecidas as seguintes diretrizes para o trabalho:

1. Desenvolver o estudo de caso em conjunto com atores que possuem experiência em operações humanitárias.
2. O modelo deve considerar múltiplos critérios para atender os diferentes atores.
3. O sistema de suporte a decisão deve permitir que o modelo seja interpretado e utilizado por qualquer pessoa envolvida no processo, em especial aquelas sem familiaridade com tratamento de dados e modelos matemáticos.

Esta última diretriz é particularmente demandante, pois envolve o desenvolvimento de técnicas sofisticadas de interação visual com o modelo matemático. O tema foi objeto de projeto anterior realizado pelo presente pesquisador com bolsa TT-5 da FAPESP em 2018-19, onde foi gerado parte do código aqui empregado.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Sobre organização do presente trabalho, após a Introdução (Capítulo 1), no Capítulo 2 foi realizada uma revisão da literatura para apresentar conceitos relevantes, bem como as pesquisas desenvolvidas na área de interesse. O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho. O Capítulo 4 detalha o estudo de caso e a descrição dos dados. O modelo matemático e uma análise de resultados para uma instância ilustrativa são apresentados no Capítulo 5. No Capítulo 6, o sistema de suporte a decisão é apresentado e suas funcionalidades detalhadas. Por fim, o Capítulo 7 apresenta a conclusão deste trabalho e sugestões de continuidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura foi realizada para o entendimento dos temas relevantes à esta pesquisa compreendendo métodos, ferramentas e evolução histórica. A primeira parte apresenta definições importantes para logística humanitária. Então, são discutidos temas relevantes a problemas de localização de armazéns. Em seguida é apresentada pesquisa bibliográfica sobre localização de armazéns em logística humanitária. Também são mostradas algumas definições e trabalhos contendo análises multicritérios. Por fim, são apresentados trabalhos e discussões sobre o desenvolvimento de sistemas de suporte a decisão.

2.1 DESASTRES E LOGÍSTICA HUMANITÁRIA

Para a Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho (2011, tradução nossa), desastre é:

“uma séria perturbação do funcionamento da sociedade, que representa uma ameaça significativa e generalizada à vida humana, à saúde, à propriedade ou ao meio ambiente, seja decorrente de acidente, natureza ou atividade humana, com um início repentino ou como resultado de um processo de longo prazo, mas excluindo conflitos armados”.

Os desastres podem ser classificados por dois critérios. O primeiro, com base na origem do desastre, divide os causados por efeito natural daqueles causados por ação humana. O segundo critério separa os desastres entre os de início rápido e aqueles de início lento. A Tabela 1 apresenta exemplos de desastres e suas classificações (Van Wassenhove, 2006).

Independentemente da origem ou da maneira como se iniciam, os agentes humanitários tratam os desastres como eventos recorrentes e com quatro fases distintas, conforme a Agência Federal de Gestão de Emergências dos Estados Unidos (FEMA): mitigação, preparação, resposta e reconstrução (FEMA, 2018).

Tabela 1 - Exemplos de classificação dos desastres

	Natural	Causado pelo homem
Início súbito	Terremoto Furacão Tornado	Ataque terrorista Golpe de estado Acidente químico Fome
Início lento	Fome Seca Pobreza Extrema	Crise política Crise de refugiados

Fonte: (Van Wassenhove, 2006, tradução nossa)

A FEMA (FEMA ,2018), define cada fase como:

1. **Mitigação:** Nesta fase, são realizadas atividades para prevenir ou reduzir a causa, o impacto e as consequências do desastre. São exemplos de mitigação a elaboração de leis e códigos que reduzam a vulnerabilidade da população e a construção de barreiras para controlar inundações.
2. **Preparação:** Na fase de preparação, são realizados planejamentos, treinamentos e atividades educacionais para os eventos em que não foi possível a mitigação total. São exemplos de preparação a elaboração de uma lista de fornecedores de itens necessários em um desastre e a realização de treinamentos e de simulados de grande escala.
3. **Resposta:** Ocorre durante e imediatamente após o desastre. É na resposta que ocorre o atendimento de assistência às vítimas e procura-se evitar danos maiores. Nesta fase, a infraestrutura do local não funciona em normalidade.
4. **Reconstrução:** Nesta fase a comunidade afetada procura reestabelecer a normalidade. A reconstrução é a última fase do desastre e ocorrerá até que todos os sistemas sejam recuperados e tenham suas atividades normalizadas.

Tanto os desastres naturais quanto os causados pelo homem aconteceram com maior frequência nas últimas décadas (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2018). Esse cenário tende a piorar, pois para diversos pesquisadores, o aumento da densidade populacional de centros urbanos, a degradação do meio ambiente, a crise humanitária, o aquecimento global e o maior alcance de doenças infectocontagiosas contribuirão para o aumento da ocorrência de desastres nos próximos 50 anos (Dubey e Gunasekaran, 2016; Marengo *et al.*, 2013; Thomas e Kopczak, 2005).

A logística humanitária aparece para lidar com essas situações de desastres e difere da logística empresarial por possuir objetivos ambíguos, limitações de recursos humanos e financeiros, grandes incertezas e um ambiente caótico (Tomasini e Van Wassenhove, 2009). Para a Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho (2018, tradução nossa), logística humanitária:

“Consiste em processos e sistemas envolvidos na mobilização de pessoas, recursos e conhecimentos para ajudar comunidades vulneráveis afetadas por desastres naturais ou emergências complexas. Ela busca a pronta resposta, visando atender o maior número de pessoas, ajuda a evitar a falta e o desperdício, organiza diversas doações e, principalmente, atua dentro de um orçamento limitado.”

Em uma organização humanitária, os clientes, papel exercido normalmente pelos doadores, diferem dos consumidores, que são as vítimas ou os beneficiários. Além disso, o sucesso da operação está diretamente ligado a preservação da vida humana, exigindo um tempo de entrega baixo e deve considerar a incerteza do local de ocorrência, da demanda e da data do evento. Todos estes fatores fazem com que as necessidades de uma cadeia humanitária sejam diferentes de uma cadeia de suprimentos comum, levando muitas vezes a estratégias de estoque, transporte e distribuição diferentes, conforme Schulz (2009). Outra diferença entre as cadeias, observada por Lima *et al.* (2011), é que em cadeias humanitárias podem ocorrer rupturas na infraestrutura, dificultando o acesso aos locais do desastre.

Em seu trabalho, Lima *et al.* (2011) relatam que as organizações humanitárias internacionais normalmente realizam as operações logísticas sem cooperação com outras organizações. Esse modo de operar acaba por gerar trabalhos duplicados, como no levantamento de dados, e por muitas vezes divergências nas informações, fazendo com que o processo como um todo perca eficiência e eficácia.

2.2 LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS

Dentre as decisões necessárias para a estruturação de uma rede de suprimentos, a localização de instalações logísticas é um dos problemas fundamentais (Ballou, 2007). A determinação da quantidade, do local e das proporções das instalações estão entre as principais decisões que devem ser definidas quando se tem um problema de localização de instalações. Este problema, na maioria das aplicações, envolve múltiplas instalações, tornando o estudo complexo, entre outras razões, por possuir um grande número de soluções viáveis (Ballou, 2007).

Dentro da logística humanitária, para Boonmee, Arimura, e Asada (2017), modelos de posicionamento de instalações logísticas que envolvem a localização são uma abordagem importante para o planejamento eficaz e eficiente no gerenciamento de desastres. Ainda na logística humanitária, os modelos de localização podem ser divididos em três categorias: (i) a operação de evacuação; (ii) o pré-posicionamento de materiais; e (iii) a distribuição de suprimentos de emergência para as pessoas afetadas (Maharjan e Hanaoka, 2017).

Os custos de uma operação logística podem variar de acordo com a quantidade de armazéns. Dentre estes custos, podemos destacar os custos de produção e compra, de estocagem e manuseio, de manutenção do estoque, de processamento de pedidos, de transporte e os custos fixos (Ballou, 2007). A Figura 4 exemplifica a variação de cada um dos custos com a variação da quantidade de armazéns.

Figura 4 - Variação dos diferentes custos em um problema de localização

Fonte: adaptado de Ballou (2007)

Daskin (1995) apresenta um modelo para localização de armazéns sem restrições de capacidade, conforme definido a seguir. Seja o grafo definido da seguinte maneira: dado um conjunto I de locais de demanda (nós i), mais um conjunto J de locais alternativos para instalar um armazém (nós j), sendo esses nós ligados por arcos ij .

Parâmetros:

- f_j = custo fixo do local candidato j
- h_i = demanda no nó i
- d_{ij} = distância entre o nó de demanda i e o local candidato j
- α = custo de transporte por unidade de demanda por unidade de distância

Variáveis de decisão:

- $X_j = \begin{cases} 1, & \text{se for escolhido o local candidato } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- Y_{ij} = fração da demanda do nó i suprida pelo local candidato j

Minimizar:

$$\sum_j f_j \cdot X_j + \alpha \cdot \sum_i \sum_j h_i \cdot d_{ij} \cdot Y_{ij} \quad (1)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$X_j \in [0,1] \quad \forall j \quad (4)$$

$$Y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (5)$$

A equação (1) minimiza o custo total que é a soma dos custos fixos com os custos de transporte. A restrição (2) estabelece que todo nó de demanda terá sua demanda plenamente atendida. A restrição (3) garante que para um local candidato abastecer um local ele precisa ser selecionado. As restrições (4) e (5) determinam os conjuntos das variáveis.

Para um problema de localização com armazéns com capacidade limitada, Daskin (1995) acrescenta um parâmetro k_j , que é a capacidade do armazém do local candidato j . Também é necessária a inclusão de mais uma restrição ao problema apresentado anteriormente.

$$\sum_i h_i \cdot Y_{ij} \leq k_j \cdot X_j \quad \forall j \quad (6)$$

A restrição (6) garante que a soma das demandas entregues pelo local candidato j não ultrapasse sua capacidade k_j . Yoshizaki (2002) amplia o modelo introduzindo uma formulação que permite definir a dimensão ou o tipo deste armazém. A seguir são apresentadas as alterações nas variáveis e nas restrições propostas pelo presente autor, onde um tipo de armazém representa diferentes tamanhos ou estruturas.

A variável de decisão X_j deve ser substituída pela variável X_{jn} definida a seguir.

$$- X_{jn} = \begin{cases} 1, & \text{se for escolhido o local candidato } j \text{ com um armazém do tipo } n \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A restrição (6) deve ser substituída pela restrição (7).

$$\sum_i h_i \cdot Y_{ij} \leq \sum_n k_{jn} \cdot X_{jn} \quad \forall j \quad (7)$$

Na restrição (7), k_{jn} é a capacidade do armazém do tipo n no local candidato j . Também deve ser adicionada uma nova restrição ao modelo.

$$\sum_n X_{jn} = 1 \quad \forall j \quad (8)$$

A restrição (8) garante que pelo menos um tipo de armazém será aberto no local j . Para permitir ao modelo não abrir nenhuma instalação em j , estabelece-se que o armazém referente a $n = 1$ possui capacidade e custos nulos.

Winston (2004) apresenta a formulação a seguir para um problema de fluxo em rede com grafos, como ocorre em uma rede viária, onde entroncamentos podem ser modelados como nós de transbordo puro. Este tipo de modelo permite identificar em uma rede, caso um arco contenha um ponto de gargalo, se o caminho contém um ou mais gargalos. Isso é essencial para modelar problemas em que as rotas podem ter problemas de acesso pela existência de potenciais gargalos, que podem representar barreiras físicas (como queda de pontes e deslizamentos) ou administrativas (postos de verificação de documentos).

Parâmetros:

- b_i = demanda (valores negativos) ou oferta (valores positivos) do nó i
- c_{ij} = custo de transporte unitário para envio do nó i para o nó j
- L_{ij} = mínimo fluxo permitido no arco (i, j)
- U_{ij} = máximo fluxo permitido no arco (i, j)

Variáveis de decisão:

X_{ij} = número de unidades enviadas do nó i para o nó j

Minimizar:

$$\sum_i \sum_j c_{ij} \cdot X_{ij} \quad (9)$$

Sujeito as restrições:

$$\sum_j X_{ij} - \sum_j X_{ji} - b_i = 0 \quad \forall i \quad (10)$$

$$L_{ij} \leq X_{ij} \leq U_{ij} \quad \forall \text{ arco } (i, j) \quad (11)$$

A restrição (10) garante que o somatório dos fluxos no nó i deve ser nula. Para um nó em que não exista nem demanda e nem produção $b_i = 0$. Já a restrição (11) garante que os limites máximos e mínimos do fluxo em cada arco seja respeitado. Caso não haja limites $L_{ij} = 0$ e $U_{ij} = \infty$. E por último a função objetivo (9) minimiza os custos de transporte.

2.3 PESQUISAS DE LOCALIZAÇÃO EM LOGÍSTICA HUMANITÁRIA

Foi realizada ampla revisão bibliográfica a fim de estudar e conhecer as pesquisas acadêmicas publicadas recentemente sobre o tema de localização de instalações em logística humanitária. Foram utilizadas quatro bases de dados: *Scopus*, *Web of Science*, *Science Direct* e *Emerald*. Para Mongeon e Paul-Hus (2016), o uso das duas primeiras em conjunto já resulta em uma pesquisa de qualidade e ampla por serem estas as principais e maiores bases de dados. A escolha das outras duas bases se deram por se querer um resultado mais amplo, já que o tema de pesquisa é bem específico. Foi realizada em cada base uma busca com as palavras-chave estruturadas conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Palavras-chave utilizadas nas buscas

Fonte: Autor

A pesquisa resultou em 769 artigos. Foi realizada uma seleção com a leitura dos resumos e foram mantidos apenas os que tratavam de logística humanitária, instalações para estoque de suprimentos e, se artigo de conferência (*conference proceedings*), ter sido publicado a partir de 2013. Assim, foram excluídos artigos que tratavam de logística empresarial, posicionamento de instalações que não eram armazéns de suprimentos (hospitais, polícia, bombeiros) e artigos de conferências com mais de 6 anos. Este último critério foi estabelecido por se acreditar que uma boa pesquisa apresentada em congresso será publicada futuramente em um periódico. Após essa seleção, permaneceram 148 artigos, entretanto apenas 104 estavam acessíveis para a leitura completa. Estes 104 artigos foram então lidos integralmente e compõem essa revisão da literatura. A lista dos 104 artigos se encontram no Anexo 1. A seguir são apresentados os resultados mais relevantes a este trabalho encontrados na revisão da literatura.

100 dos artigos estudados tratavam o problema de localização sob um viés quantitativo, sendo que 94 utilizaram modelos de otimização e apenas 4 realizaram estudos utilizando métodos de simulação. A Figura 6 apresenta esses resultados que vão ao encontro com o apontado por Ballou (2007) quanto às preferências dos métodos de solução.

Figura 6 - Resultados sobre tipo de pesquisa e métodos de solução

Fonte: Autor

Quanto ao tipo de desastre, 59 artigos tratavam dos causados por fenômenos naturais, 4 abordavam os desastres ocasionados pelo homem e 41 não definiam o tipo de desastre. A respeito da forma de início do desastre, 56 tratavam daqueles de início súbito, 4 daqueles de início lento e 44 não definiram (Figura 7). Estas estatísticas revelam duas importantes informações sobre as pesquisas de localização. A primeira é sobre a grande quantidade de artigos que tratam de problemas genéricos, isto é, aqueles que não definem os tipos de desastres. À primeira vista, estes modelos genéricos podem parecer vantajosos a alguém que pense que eles possam ser utilizados em qualquer situação. Entretanto, dependendo da dinâmica, do grau de centralização e do tempo disponível, diferentes desastres exigem diferentes abordagens para a tomada de decisão (Ursacki-Bryant *et al.*, 2008). Assim, como já mencionado anteriormente (Cavalcanti, 2015; Gralla, 2012), modelos que não tratam de detalhes específicos de cada tipo de operação provavelmente possuem pouca aplicabilidade em casos reais.

A segunda é o pequeno número de trabalhos que abordam desastres de início lento e de desastres causados pelo homem. Estudos sobre esses tipos de desastres são tão importantes quanto qualquer outro e essa diferença na quantidade de pesquisas precisa ser revista pela comunidade acadêmica. Para exemplificar essa importância, podemos citar os dados do Alto Comissariado das Nações Unidas para os Refugiados (2018). Segundo esta entidade, existem no mundo cerca de 68,5 milhões de pessoas em situação de refúgio, em situação de deslocados internos ou em busca de asilo, sendo

estes apenas uma parcela dos afetados por desastres de início lento e/ou causados pelo homem.

Figura 7 - Resultados sobre causa e tipos de início dos desastres

Fonte: Autor

Para a análise dos objetivos, foram definidas três classes de objetivos: econômicos, nível de serviço e relativos a questões ambientais. Dos 104 artigos analisados, 44 possuem modelos com mais de uma classe de objetivo. Todos esses consideravam critérios econômicos, 43 apresentavam objetivos de otimização do nível de serviço e apenas 1 possuía objetivo relativos a questões ambientais. Dos 60 que possuíam apenas uma classe, 29 deles buscavam otimizações econômicas, 27 pretendiam melhorar o nível de serviço e 4 tinham objetivos diferentes das classes estabelecidas para o estudo. Farahani *et al* (2010) constataram que, para determinar a melhor localização das instalações, a maioria dos problemas na prática consideram mais de um objetivo ou atributo, o que não foi verificado em quase 60% dos trabalhos analisados, mostrando mais uma vez a distância entre problemas reais e teóricos. Além disso, dentre os que buscavam a otimização de um único critério, 29 pretendiam otimizar o problema economicamente, entretanto, tanto o profissional humanitário entrevistado por Cavalcanti (2015), quanto o entrevistado para este trabalho, não consideram os fatores econômicos predominantes para problemas em logística humanitária. A Figura 8 mostra as análises realizadas quanto aos objetivos dos trabalhos estudados.

Figura 8 – Resultados sobre os objetivos dos modelos

2.4 ANÁLISES COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS

A tomada de decisão, na maioria dos problemas práticos, leva em consideração mais de um objetivo ou mais de um atributo para determinar a melhor escolha. Essas particularidades transformam o problema clássico, com um objetivo, em problemas com múltiplos objetivos (MODM) e/ou problemas com múltiplos atributos (MADM). Estes dois tipos de problemas podem ser reunidos como problemas de tomada de decisão multicritério (MCDM). Em particular, problemas reais de localização têm múltiplos critérios (Daskin, 1995; Ballou, 2007). As pesquisas envolvendo localização de instalações multicritério têm aumentado consideravelmente (Farahani *et al*, 2010).

Belton e Stewart (2001) definem análise de decisão com múltiplos critérios (MCDA) como um termo genérico para descrever diversos métodos que levam em consideração múltiplos critérios para auxiliar indivíduos ou grupos na tomada de decisão. Para os autores, o MCDA auxilia os tomadores de decisão organizando e sintetizando as informações, muitas vezes de natureza complexa e conflituosa, para que os tomadores de decisão fiquem confortáveis e confiantes com a decisão escolhida, minimizando futuras mudanças de opiniões.

Ransikarbun e Mason (2016) apresentam um problema de localização em logística humanitária com 3 objetivos: (1) atender um percentual mínimo da demanda, (2) minimizar a soma de demandas não realizadas em cada nó e (3) reduzir o custo total da

rede. Os autores apresentam uma função objetivo que normaliza os valores para uma escala adimensional entre 0 e 1, podendo assim fazer uma comparação de valores com dimensões distintas. Para cada objetivo foram calculados os limites máximo (H_n) e mínimo (L_n) considerando o contexto e o modelo matemático do problema, onde o índice n segue a numeração acima. Cada objetivo (f_n) é então normalizado, como se pode verificar na Equação (12). Após a normalização, cada objetivo é multiplicado por um peso (w_n) para compor o valor final da função objetivo.

$$\max w_1 * \left(\frac{f_1 - L_1}{H_1 - L_1} \right) + w_2 * \left(\frac{f_2 - L_2}{H_2 - L_2} \right) + w_3 * \left(\frac{f_3 - L_3}{H_3 - L_3} \right) \quad (12)$$

Uma outra abordagem é apresentada por Abounacer *et al.* (2014), onde os autores abordam um problema de logística humanitária também com 3 objetivos: (1) minimizar a soma dos tempos de entrega, (2) minimizar o número de agentes necessários para operar a rede e (3) minimizar o total das demandas não atendidas. No modelo apresentado pelos autores eles elegem um dos objetivos para ser a função objetivo e os outros dois são transformados em restrições, esse método é conhecido como ε – *constraint*. Sendo os objetivos representados por (f_n), a formulação apresentada pelos autores é:

$$\min f_1 \quad (13)$$

$$f_2 \leq \varepsilon_2 \quad (14)$$

$$f_3 \leq \varepsilon_3 \quad (15)$$

Para a otimização os autores utilizaram um algoritmo iterativo que varia os valores de ε_2 e ε_3 entre os máximos e mínimos valores possíveis para f_2 e f_3 .

Yoshizaki e Montibeller (2009) apresentam uma metodologia utilizando funções de valor para um modelo de localização de armazéns em logística empresarial. Essas funções determinam o valor que cada critério, ou objetivo, contribui para o valor total da rede logística. No modelo apresentado pelos autores esses valores variam entre 0 e 100 e as funções de valores são funções lineares por partes. A Figura 9 mostra a função de valor

para os custos logísticos que foi utilizada pelos autores. Primeiro é calculado o mínimo custo total (cL^*), desconsiderando os demais critérios. Então, para cada cenário (configuração alternativa), o modelo calcula o custo total (cL) e a fração (cL/cL^*) retornando o valor (v_c) correspondente. Funções de valor permitem aos modelos possuírem objetivos com dimensões diferentes assim como objetivos qualitativos. Na Tabela 2 é apresentada a função de valor que mensura a qualidade dos serviços logísticos presentes na região de cada local candidato, construída a partir de cenários qualitativos. Além dos dois objetivos já apresentados, os autores também consideraram a eficiência na manutenção da rede. A função objetivo é calculada como a soma ponderada dos valores de cada objetivo.

Figura 9 - Exemplo de função de valor
Custo Logístico

Fonte: adaptado de Yoshizaki e Montibeller (2009)

Tabela 2 - Exemplo de objetivo quantitativo

Valor	Descrição do nível do atributo
100	Disponibilidade de transportadoras de médio porte com cobertura nacional e altos padrões de serviços.
75	Disponibilidade de transportadoras de médio porte com cobertura regional e altos padrões de serviços
50	Poucas operadoras de grande porte com cobertura nacional e padrões médios de serviço.
25	Disponibilidade de transportadoras de pequeno porte com cobertura regional e altos padrões de serviços
0	Poucas operadoras de pequeno porte com cobertura regional com padrões médios de serviços.

Fonte: traduzido de Yoshizaki e Montibeller (2009)

2.5 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO

Um agente logístico, ao configurar uma rede, independentemente do processo, precisa de dados, de ferramentas computacionais e de um processo de análise para a obtenção de um projeto eficiente (Ballou, 2007). Para Turban *et al.* (2010), sistemas de suporte a decisão (SSD) são sistemas baseados em modelos ou em conhecimentos que, de uma forma estruturada ou parcialmente estruturada, auxiliam os tomadores de decisão. Um sistema de suporte a decisão não substitui o tomador de decisão, mas sim aumenta suas capacidades de tomada de decisão (Seref *et al.*, 2007).

Um sistema de suporte a decisão deve ser fácil de utilizar. A interface gráfica com o usuário, a capacidade de produzir gráficos e interações amigáveis produzem um sistema eficiente. Geralmente, um sistema de suporte a decisão possui cinco componentes: banco de dados, banco de conhecimentos, modelo, interface gráfica e o usuário (Figura 10) (Seref *et al.*, 2007).

Fonte: (Seref *et al.*, 2007, tradução nossa)

Seref *et al.* (2007) descrevem cada um desses componentes:

1. Banco de dados: São os dados com os quais a decisão será tomada. Em um modelo de decisão, por exemplo, se refere aos custos fixos dos armazéns, às coordenadas dos locais candidatos, às demandas de cada cliente, e assim por diante.
2. Modelo: Um ou mais modelos escolhidos para representar o processo para a tomada de decisão. Podem ser utilizados, entre outros, modelos de otimização, de simulação, estatísticos ou ainda uma combinação de modelos.
3. Interface gráfica: Deve possuir capacidade interativa que proporcione ao usuário a capacidade de comunicar-se com o sistema, permitindo, entre outras características, que o usuário atualize os dados, execute o modelo e analise os resultados. É considerado o componente mais importante do sistema.
4. Banco de conhecimentos: Fornece informações complementares para o tomador de decisão. Por exemplo, dados históricos ou resultados de decisões similares tomadas no passado.
5. Usuário: A pessoa ou grupo de pessoas que utilizará o sistema para tomar uma decisão. Na elaboração de um sistema de suporte a decisão, devem ser considerados o tipo de usuário e o seu conhecimento técnico: quanto menor o conhecimento do tomador de decisão mais o sistema deverá ser amigável ao usuário.

Problemas de localização de instalações logísticas reais têm natureza intrinsecamente visual, pois formam um arranjo espacial geográfico. Arranjos espaciais em geografias familiares aos indivíduos unem características de geometria e registros espaciais (Munzner, 2014), o que facilita navegação e compreensão mais intuitiva e menos abstrata para pessoal não especialista (como será o caso do desenvolvimento do SSD deste trabalho). Tais problemas abrangem extensões territoriais que podem ser adequadamente retratadas em ambiente bidimensional (mapas), o que facilita a interação visual (Munzner, 2014; Ware, 2012). Assim, também se adequam ao emprego de sistemas espaciais de apoio à decisão (Keenan e Jankowski, 2019). Experimentos comprovaram que interfaces mais abstratas aumentam a produtividade de especialistas

experientes, mas nesse caso, pessoal não-especialista (o público do presente sistema) considera representações mais abstratas menos úteis e até mesmo confusas (Rouse *et al.*, 2017). Assim, é importante que o SSD contenha representações geográficas (mapas).

No caso de interação visual com modelos, a literatura recomenda tempos de resposta de segundos para decisões em grupo (Franco e Montibeller, 2010) e décimos de segundo para indivíduos (Munzner, 2014; Ware, 2012). Assim, um requisito para o SSD é otimização em tempo quase real. Experiências anteriores do presente pesquisador demonstram que tempos da ordem de 30 segundos a um minuto são aceitáveis em decisões de grupo, pois o tempo de processamento pode ser bem aproveitado para discussões entre participantes, por exemplo, justificando a análise do cenário adicional.

2.6 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Como apresentado, dada a natureza estratégica do problema de localização (Daskin, 1995; Ballou, 2007), as decisões devem ser tomadas com base em múltiplos critérios e as escolhas devem ser feitas em grupo por vários tomadores de decisão (Montibeller e Franco, 2007). Isso vai ao encontro do objetivo de gerar uma ferramenta para uso em grupo no treinamento em colaboração logística.

O estudo de problemas de localização com múltiplos critérios apesar de serem considerados de grande importância e que mais se aproximam de problemas reais não são abordados na maioria dos trabalhos que foram analisados. Mostrando assim, a relevância deste trabalho e sua contribuição para o conhecimento acadêmico e de engenharia.

3 METODOLOGIA

O trabalho pode ser dividido em duas grandes frentes. Uma sendo o desenvolvimento da pesquisa como, entre outras atividades, a coleta de dados e a definição dos objetivos. A segunda é o desenvolvimento do SSD, como por exemplo, a definição de tecnologias, desenvolvimento do código e testes.

A pesquisa apresenta características quantitativas, como o desenvolvimento do modelo matemático, e características qualitativas como leitura de relatórios e entrevistas para definição do caso aplicado e a avaliação das funcionalidades e telas do SSD. Sendo assim, para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizada a metodologia de métodos mistos proposta por Creswell (2007).

Para o desenvolvimento do SSD foi utilizada a metodologia espiral proposta por Boehm (1988). Na metodologia espiral, o programa é desenvolvido em versões que vão evoluindo a cada iteração. As primeiras versões podem ser desenhos que evoluem para protótipos e a cada iteração o programa é modificado e adquire funcionalidades até chegar ao produto final. De acordo com Peters e Pedrycz (2001), o ciclo de vida de um projeto que segue a metodologia espiral possui quatro atividades chave:

- Planejamento: Levantamento dos objetivos, restrições e alternativas.
- Análise de riscos: Estudo de alternativas e análise e solução dos riscos
- Engenharia: Desenvolvimento do programa
- Avaliação do cliente: Análise dos resultados e *feedbacks*

Cada uma dessas atividades é realizada a cada volta que o projeto dá na espiral.

O desenvolvimento do SSD apresentado neste trabalho foi realizado em conjunto com um outro SSD para um problema de localização em logística empresarial, onde o pesquisador foi bolsista TT da FAPESP. Algumas fases do desenvolvimento foram realizadas somente em um dos SSD e aplicadas em ambos os produtos. A Figura 11

apresenta algumas etapas do desenvolvimento do SSD, desde o protótipo inicial de tela desenvolvido em *Power Point* até a versão final.

Figura 11 - Etapas do desenvolvimento do SSD

(a) Primeiro protótipo de tela em *Power Point*

(b) Teste de código, interfaces e funcionalidades utilizando um problema adaptado de Ballou (2007)

(c) Primeiro protótipo funcional do SSD

(d) Uma das iterações de desenvolvimento (SSD empresarial)

(e) Versão final do SSD

O sistema de suporte a decisão foi desenvolvido com o *front-end* em plataforma web (*HTML*, *JavaScript*, *CSS3*), já o *back-end* foi desenvolvido em *PHP* e *Python*. O *back-end* precisa de um servidor web para ser executado. O servidor pode ser instalado em uma *intranet* ou no próprio computador que executará o *front-end*. O sistema não foi desenvolvido para ser instalado em um servidor na internet, não possuindo assim implementações de segurança para tal função.

Para o desenvolvimento do sistema, foram utilizadas as seguintes bibliotecas: *Jquery*, que fornece funções e procedimentos para manipulação de objetos *HTML*; *Bootstrap*, que possui uma biblioteca de estilos para objetos *HTML*; *Leaflet*, para criação e manipulação de mapas; *Font Awesome*, que fornece uma biblioteca de ícones; e *Chartsjs*, para criação e manipulação de gráficos.

A Figura 12 apresenta a estrutura do sistema. O *front-end* captura os dados inseridos pelo usuário e envia ao *back-end*. O *back-end* recebe os dados e escreve o modelo em *python* com as características selecionadas pelo usuário e executa este modelo utilizando o otimizador *Gurobi*. O código *python* gera um arquivo de resposta em *JavaScript* que o servidor enviará para o *front-end*. Ao receber o arquivo com os resultados, o *front-end* cria os mapas, tabelas e gráficos para visualização do usuário.

Fonte: Autor

4 DESCRIÇÃO DO CASO APLICADO E COLETA DE DADOS

Para elaboração do Sistema de Suporte a Decisão foi preparado um caso inspirado na operação de resposta humanitária causada pela operação militar para a retomada da cidade iraquiana de Mossul, como descrito no Capítulo 1 – Introdução.

O caso aborda as decisões que participantes do *cluster* logístico precisaram tomar um pouco antes da operação militar. Ele é baseado em documentos disponibilizados publicamente pelas entidades que atuaram na operação, referenciados conforme aparecem no texto, e na visão de um agente logístico atuante na equipe de logística de uma ONG durante os fatos aqui retratados. Durante a elaboração do modelo buscou-se ao máximo o desenvolvimento colaborativo com o agente¹, a fim de estabelecer um caso o mais realístico possível dentro dos objetivos do trabalho e, assim, fornecer um contexto rico para os participantes do treinamento. A coleta de informações realizada com apenas um agente pode ser enviesada e não abordar outros pontos de vista, mas, sendo o objetivo uma ferramenta educacional, essa deficiência não impactou negativamente no resultado.

Uma forma de assegurar uma ação eficaz e coerente e uma resposta estratégica em todas as principais áreas de atividade de uma operação humanitária com a mobilização de diversas entidades é a adoção de uma coordenação utilizando a metodologia de *Clusters*. Nessa metodologia, cada área tem um líder claramente designado em conjunto com a coordenação humanitária e as lideranças do país (UNITED NATIONS. Inter-Agency Standing Committee, 2006). A operação de resposta no Iraque adotou a metodologia de *Cluster* para coordenar as mais de 40 agências que atuavam inicialmente nas seguintes áreas: Proteção; Segurança Alimentar; Saúde; Água, Saneamento e Higiene; Abrigo e Itens Não-Alimentares; Coordenação e Gestão de Campos; Educação; Mecanismos de Resposta Rápida; Telecomunicação de Emergência; Logística; e

¹ COSTA, O. A. F. Operação Humanitária no Iraque. Interações presenciais e por e-mail no período entre agosto de 2017 e dezembro de 2019.

Serviços Comuns e Coordenação (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016).

Este caso foi construído na perspectiva de agentes envolvidos no cluster de logística, cuja liderança foi incumbida ao WFP. Os principais objetivos do *cluster* logístico eram: estabelecer uma rede de abastecimento que garantisse a capacidade de armazenamento; cobrir as principais estradas para facilitar a entrada de suprimentos; assegurar o atendimento de contingências com aviação de emergência; e fornecer treinamento para agentes nacionais e internacionais. A operação seria desenhada através dos *hubs* localizados em Dahuk, Erbil e Bagdá, que entregariam para armazéns secundários, pertencentes às diversas organizações, e esses realizariam a entrega aos campos (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016).

4.1 A PROBLEMÁTICA DO CASO

Durante as discussões do plano operacional, a capacidade logística de resposta, principalmente a disponibilidade de armazenagem para recebimento e processamento de suprimentos, foi estabelecida como um dos grandes objetivos da missão. O *Logistics Cluster* gerenciava essas discussões e considerava a mobilização de recursos um importante tópico para viabilizar que as organizações humanitárias estivessem amparadas para fornecer um serviço de qualidade.

Armazéns no ambiente humanitário servem importantes funções da operação. Por exemplo, atuam como pontos de consolidação e preparação dos suprimentos em kits para serem entregues aos necessitados. Não é incomum que equipes e recursos se mobilizem em armazéns ou próximos a eles antes de seguirem para entrega final e essa função é ainda mais potencializada nos casos em que a demanda varia geograficamente, tanto pela formação de campos, quanto pela liberação de vilarejos com alta demanda de ajuda no decorrer da operação.

Dentre os objetivos do *cluster* logístico mencionados anteriormente, o caso deste trabalho foca nas decisões para estabelecer a rede de abastecimento. Os decisores envolvidos deverão localizar pontos de armazenagem que minimizem custos logísticos e maximizem o atendimento aos campos em termos de prazos médios e riscos de abastecimento. Outra decisão que deveria ser tomada é relativa à configuração da rede, que pode ser centralizada com um pequeno número de armazéns principais ou descentralizada com pequenos armazéns locais com menor cobertura. Essa decisão deve considerar a disponibilidade de recursos que, por serem limitados, implicariam em maior custo.

Caso recursos sejam preposicionados no lugar errado ou em quantidades inadequadas, populações com necessidades podem não ser cobertas adequadamente, enquanto armazéns distantes podem não servir ao propósito da resposta. O custo de não atendimento da demanda é alto, pois a falta pode gerar problemas de segurança nos campos. Por outro lado, a sobra de suprimentos também é um problema, pois os agentes locais de segurança não são favoráveis ao remanejamento. Estes agentes dificultam o transporte de cargas, já posicionadas em suas regiões, para outras localidades.

Apenas 40 por cento dos recursos solicitados no começo de 2016 pela comunidade humanitária para um plano de resposta para atender 7,3 milhões de iraquianos foram recebidos. Isso ocasionou o encerramento de centenas de programas durante os meses seguintes à solicitação (Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários, 2016). Por isso, apesar do caráter humanitário, a operação também requeria atenção aos custos, de forma a maximizar a assistência ou, equivalentemente, minimizar o custo por beneficiário.

Diversos pontos das estradas tinham postos de verificação ou checagem (*checkpoints*) de documentos realizados pelas Forças de Segurança Iraquianas, pela *Peshmerga* (exército curdo) ou por milícias paramilitares que atuavam nas forças de coalizão. Por muitas vezes essas verificações são demoradas e causam atrasos na entrega. A localização desses postos de checagem são estáveis com o tempo, com raras alterações. Mesmo entendendo que estes pontos são vitais para a segurança nacional e,

consequentemente, para toda a operação, os tomadores de decisão entendem que uma rede logística que precise passar por vários destes pontos não é adequada. Sendo assim, a posição desses postos deve ser considerada no planejamento da rede logística deste estudo de caso.

De acordo com Lima *et al.* (2011), em operações humanitárias a rede logística, na maioria das vezes, é formada por estruturas descentralizadas tanto geograficamente quanto por organizações. Tipicamente cada organização tem seus próprios armazéns que servem, na maioria dos casos, apenas suas próprias operações. Como mencionado anteriormente, era esperado a participação de mais de 40 entidades na operação, ocasionando uma rede desnecessariamente grande e complexa. Dificuldades operacionais e de coordenação e a falta de conhecimento especializado, na maioria dos casos, impediram a criação de um sistema logístico cooperativo entre os diversos atores.

Um projeto piloto de centralizar a gestão de armazéns foi realizado em uma pequena parte da operação na região de Salamyah, pelo agente humanitário já citado. De acordo com o mesmo, foi implementado um armazém, coordenado por uma única organização, que atendia diversas outras entidades de modo centralizado. Esta foi a inspiração para esta dissertação: como poderia ser estudado o processo decisório para a implementação da centralização para toda a operação, uma vez que a centralização da gestão da operação se mostrou eficiente em uma pequena região.

Sendo assim, o estudo de caso tem como objetivo estudar como seria a operação centralizada. Os decisores do caso devem determinar a rede logística para abastecimento humanitário dos deslocados internos que se encontram em campos conhecidos. Essa rede deve ser composta de armazéns públicos que servirão à operação de todas as entidades para uma lista específica de suprimentos. Foi estabelecido um horizonte de tempo de 6 meses de operação, pois, com base em dados de relatórios e conversas com agentes logísticos e pesquisadores em logística humanitária, este é o período normalmente utilizado no planejamento de operações desta natureza.

A decisão de centralizar a operação implicará em outras estratégias. Neste cenário proposto, as cargas saem dos três armazéns principais (hubs) para armazéns secundários, nas proximidades dos campos, para consolidação e preparação dos kits, de onde os suprimentos são encaminhados para os campos ou pontos de entrega, sendo a entrega feita diretamente dos caminhões. Com isso não é necessário a movimentação de carga nos armazéns dos campos, limitando esses a ter um estoque reduzido. A Figura 13 apresenta algumas etapas das operações de distribuição ocorridas durante o problema em estudo. A Figura 13a mostra a fila de caminhões para descarga em um ponto de consolidação, a Figura 13b e a Figura 13c mostram a montagem e a preparação dos kits para a distribuição.

Figura 13 - Exemplo de operações ocorridas durante o problema em estudo

Fonte: (CNW, 2016)

Durante o planejamento da operação, os tomadores de decisão lidaram com diversas incertezas, como a localização e a quantidade final dos campos; a velocidade e a posição da ofensiva militar; a quantidade de pessoas deslocadas e a quantidade dessas que se irão se deslocar para campos; além da quantidade de organizações que irão atuar na operação. Como o modelo proposto tem um objetivo didático, algumas incertezas foram simplificadas e outras não foram abordadas para facilitar a compreensão e o estudo do modelo sem perdas aos objetivos deste trabalho.

4.2 REDES LOGÍSTICAS E SUPRIMENTOS

Como apresentado anteriormente, as redes logísticas neste tipo de operação são descentralizadas. Para o estudo de caso (e seu modelo matemático), foi utilizada uma versão simplificada das redes que operaram no Iraque durante a crise e distribuía

diferentes suprimentos. Dada a finalidade didática, foi criada uma rede fictícia que será responsável pelos itens de primeira necessidade alimentares e não alimentares. A escolha destes produtos foi realizada em conjunto com o agente que atuou na operação e foram considerados como critérios de escolha a importância e o tamanho da operação destes produtos. Existiam outras redes logísticas atuando com outros produtos na operação, mas o estudo destes produtos será suficiente para ilustrar as vantagens da proposta de centralização e para o objetivo do trabalho.

A fim de estabelecer parâmetros mínimos para diversas áreas de resposta humanitária, um grupo de ONGs criou o Projeto Esfera (The Sphere Project, 2011). Este projeto elaborou e publicou a Carta Humanitária e Padrões Mínimos de Resposta Humanitária em um livro, que objetiva melhorar a qualidade da resposta humanitária em situações de desastre, estabelecendo procedimentos e requisitos mínimos para as principais áreas de atuação humanitária, como por exemplo, Segurança Alimentar e Nutrição; Saúde; Higiene; etc. Com a ajuda do agente humanitário, de documentos disponibilizados publicamente e das diretrizes estabelecidas pelo Projeto Esfera, foi estabelecida uma lista de suprimentos que deveriam ser entregues para cada família durante a operação. Esta lista está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Lista de suprimentos utilizada no modelo

Descrição	Frequência semestral	Massa unitária (kg)
Itens não alimentares	2	50
Botijão de gás	2	15
Alimentos de resposta rápida	1	8
Kit de higiene de resposta rápida	1	5
Kit de água de resposta rápida	1	25
Kit de higiene	6	7
Kit de dignidade	7	3
Kit para bebês	7	0,8
Kit familiar de alimentos	6	70

Fonte: Adaptado de (The Sphere Project, 2011), Costa² (Informação pessoal)

² COSTA, O. A. F. Operação Humanitária no Iraque. Interações presenciais e por e-mail no período entre agosto de 2017 e dezembro de 2019.

Analisando os dados apresentados na Tabela 3, verificam-se alguns padrões de frequência de entrega. Os itens de resposta rápida são entregues uma única vez quando a família, composta na média por 6 pessoas, chega ao campo; nessa primeira entrega, as famílias também recebem um kit de dignidade e um kit para bebês. Os itens não alimentares e o botijão de gás são entregues a cada três meses e os demais itens são entregues mensalmente. Levando em consideração a rotatividade das famílias nos campos, e, conseqüentemente, uma média constante de entrega de todos os tipos de suprimentos no decorrer dos meses, o modelo adotará que cada família receberá um kit mensal de 110 kg. Utilizando os dados disponibilizados pelo *Logistics Cluster* (2015), foi estimada a densidade de uma cesta de produtos, considerando o conteúdo médio dos kits entregues às famílias, em 218 kg/m³. Sendo assim o volume da cesta foi estimado em 0,3m³.

4.3 OBJETIVOS DO CASO

Como exposto anteriormente, neste problema em estudo os tomadores de decisão devem considerar diversos aspectos da operação. Como Gralla (2012) e Cavalcanti (2015) observaram em seus trabalhos, a definição dos objetivos é um dos pontos mais importantes para a elaboração de um modelo realístico. Dentre os diversos atributos que deveriam ser considerados nesta operação foi definido, tentando considerar a visão dos diversos atores envolvidos, que os objetivos a serem buscados seriam:

Minimizar os custos: Conforme já apresentado, os custos devem ser considerados, pois o orçamento solicitado pode não ser totalmente obtido e deve-se buscar um projeto que utilize os recursos de forma eficiente e que maximize a assistência.

Minimizar o tempo de entrega máximo: Os armazéns devem servir ao máximo ao favorecimento das operações. As organizações, para se beneficiarem de uma estratégia central de armazenagem, devem ter os armazéns como pontos articuladores da resposta na região e lidar flexivelmente com mudanças de demanda.

Minimizar o risco médio de atraso: Enquanto os armazéns podem criar grandes sinergias de custo, devem minimizar o uso de rotas com alto grau de impedimento de acesso – notavelmente os problemas de acesso de cargas por rotas com alta frequência de bloqueios militares (*checkpoints*), que atrasam e até impedem o acesso a populações com necessidade.

Os três objetivos foram estruturados em uma árvore de valor (Figura 14). Os objetivos foram divididos em dois grandes grupos. O primeiro composto pelo objetivo de minimizar os custos; e o segundo agrupando os objetivos de minimizar o tempo de entrega e minimizar os riscos de atrasos em um objetivo maior de maximizar o nível de serviço.

Fonte: Autor

4.4 LOCAIS CANDIDATOS

O *Logistics Cluster* (2015) disponibiliza na internet um guia operacional com instruções e sugestões sobre como realizar uma operação logística em uma missão humanitária. Neste guia são apresentados alguns fatores para selecionar um local adequado para a instalação e a escolha do tipo de armazém, como por exemplo, acesso à mão de obra; condição do lugar; proximidade aos fornecedores e clientes; segurança; tempo estimado da operação; e quantidade de docas necessárias.

Utilizando como base as instruções apresentadas pelo *Logistics Cluster* (2015) e as informações fornecidas pelo agente humanitário, foram definidas as diretrizes para escolha dos lugares candidatos. A proximidade aos beneficiários, a segurança e a facilidade de acesso à mão de obra e aos serviços foram os principais pontos

considerados nesta determinação. Com isso, foi estabelecido que os armazéns poderiam ser localizados junto aos campos, aproveitando a infraestrutura já estabelecida para a operação destes ou em algumas cidades do Iraque. As cidades candidatas foram determinadas através de dois parâmetros: a distância máxima de Mossul de 240 km, que garante um tempo de viagem de 4 horas para uma velocidade média de 60 km/h, garantirá a proximidade aos beneficiários e uma população superior a 40 mil habitantes garantirá o acesso à mão de obra e serviços, assim como a segurança. A Tabela 4 apresenta as cidades candidatas selecionadas.

Tabela 4 - Cidades que atendem os critérios estabelecidos para lugares candidatos

Cidade	Distância para Mossul (Km)	População (x1000)	Latitude	Longitude
Erbil	85	932	36,20629	44,00886
Dahuk	140	284	36,8679	42,94748
Kirkuk	175	601	35,46557	44,38039
Al-Hamdaniya	35	50	36,17912	43,40001
Tikrit	230	42	34,61872	43,65672

Fonte: World Population Review (2018) e GOOGLE (2018)

4.5 TIPOS DE ARMAZÉNS

Para a seleção dos tipos de armazém foram estabelecidas duas opções. Armazéns de alvenaria, *Hard Cover*, e as unidades de armazenagem móveis (MSU, na sigla em inglês), de lona, ou *Soft Cover* (Figura 15). Estes dois tipos de armazenagem são comumente utilizados em operações humanitárias. De acordo com os dados coletados, foi estabelecido que os armazéns de alvenaria seriam opções para as cidades candidatas e os MSU, em módulos de 10x32 m, apenas junto aos campos.

MSU são estruturas fabricadas em aço ou alumínio com uma capa de poliéster. São normalmente encontradas nos tamanhos de 10 x 20 m e 10 x 32 m. As alturas na maioria dos modelos podem ser de até 4 m. Para instalação é necessário um terreno firme e plano e que facilite o acesso de caminhões. A montagem das MSU pode ser realizada com mão de obra local, com supervisão técnica do WFP (Catholic Relief Services, 2018).

Em operações humanitárias, o WFP empresta os MSU durante as operações, ficando as organizações apenas com o custo de instalação. Os MSU podem ser montados em grupos modulares (Figura 15) e também podem servir para ampliar a capacidade dos armazéns de alvenaria.

Figura 15 - Exemplos ilustrativo de unidades de armazenagem móveis

Fonte: Adaptado de Adedeji Ademigbuji (2018)

Para o cálculo das capacidades dos armazéns foi utilizada a metodologia apresentada por *Logistics Cluster* (2015), com modificações realizadas durante reuniões com o agente que atuou na operação e pesquisadores em logística humanitária. Tanto para os MSU como para os armazéns de alvenaria, foram considerados 70% de suas áreas como espaços disponíveis para armazenamento e um giro quinzenal do estoque. Para os armazéns de alvenaria foi adotado uma altura máxima para armazenagem de 5 m e para os MSU uma altura de 2,5 m.

Para o cálculo dos custos fixos foram utilizadas planilhas fornecidas pelo agente e dados disponibilizados pelo *Logistics Cluster* (2018). Foram considerados custos de mão de obra gerencial, técnica e operacional, de aluguel e compra de equipamentos, materiais de escritório, pacotes de internet e telefonia e segurança. Por razões de confidencialidade de dados, os custos não são detalhados, com apenas os valores finais para cada tipo de armazém. Os tamanhos dos armazéns de alvenaria e as configurações de MSU foram determinados utilizando dados históricos fornecidos pelo agente humanitário. As configurações, capacidades e custos referentes aos armazéns de alvenaria estão apresentadas na Tabela 5 e, as referentes aos MSU's, na Tabela 6.

Assim como Yoshizaki (2002), os custos variáveis dos armazéns (movimentação dos suprimentos) foram considerados constantes com a variação de capacidade, sendo os ganhos de escala associados somente aos custos fixos da operação.

Tabela 5 - Opções de armazéns de alvenaria

#	Área (m ²)	Capacidade (t/mês)	Custo fixo mensal (USD)	Custo de abertura (USD)
1	500	1283	31 580	6000
2	1000	2567	33 950	6000
3	2000	5133	49805	6000

Fonte: Adaptado de Costa³ (Informação pessoal)

Tabela 6 - Opções de configurações de MSU

#	Qtd de MSU	Capacidade (t/mês)	Custo fixo mensal (USD)	Custo de abertura (USD)
4	1	410	26 775	13174
5	3	1230	28 375	20611
6	6	2460	40 510	30307
7	9	3690	55 035	35674

Fonte: Adaptado de Costa³ (Informação pessoal)

4.6 LOCALIZAÇÃO DOS CAMPOS E DEMANDAS

Durante a operação no Iraque, a Organização Internacional de Migração (IOM, *International Organization for Migration*), o *ReliefWeb*, que é um serviço do Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários e considerada a principal fonte de informações globais sobre crises e desastres humanitários, e o REACH, uma iniciativa conjunta de duas ONGs internacionais, ACTED e *IMPACT Initiatives*, em conjunto com a ONU que tem como objetivo desenvolver ferramentas e produtos de informação para ajudar na tomada de decisão dos agentes humanitários, coletaram e processaram dados e informações sobre as operações humanitárias. O IOM elaborou a Matriz de Rastreamento de Deslocamento (DTM, *Displacement Tracking Matrix*) com diversas informações sobre as pessoas afetadas, entre elas informações de quantidade,

³ COSTA, O. A. F. Operação Humanitária no Iraque. Interações presenciais e por e-mail no período entre agosto de 2017 e dezembro de 2019.

de localização e de origem. As informações coletadas pela IOM – DTM estão disponíveis na página do IOM na internet (International Organization for Migration, 2020). Na página do *ReliefWeb* na internet (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2019) estão disponíveis relatórios semanais sobre a ocupação, capacidade e planejamento dos campos para IDP no Iraque. No REACH (United Nations Operational Satellite Applications Programme *et al.*, 2019), por sua vez, foram disponibilizados relatórios periódicos detalhando a operação em cada campo. Para a construção do modelo foram utilizados os dados disponibilizados por essas organizações, que determinaram a lista campos de IDP.

Foram consultados 49 relatórios disponibilizados pelo *ReliefWeb*, publicados quase semanalmente, entre outubro de 2016 e julho de 2017, com informações sobre as ocupações, capacidade e planejamento dos campos. Nesses relatórios foram identificados 73 nomes diferentes de campo; entretanto, foram identificadas mudanças de nomes para alguns campos ao longo do período que os relatórios foram publicados e, assim, esses dados foram agrupados. Também diversos campos apareceram nos relatórios apenas como planejados, ou seja, sem apresentar ocupação no período em estudo. Esses campos sem ocupação não foram considerados. Por fim, com essa filtragem dos dados, foi estabelecida uma lista com 24 campos distintos, com suas capacidades e ocupações no tempo. Para obter as coordenadas geográficas de cada campo, foram utilizados relatórios do DTM-IOM, do *ReliefWeb* e do REACH.

A Figura 16 apresenta a variação de ocupação dos campos, de lugares disponíveis (soma de ocupados mais livres) e de lugares planejados (soma de disponíveis mais os planejados a construir). Na Figura 16 pode-se observar o crescimento de famílias nos campos com o passar do tempo. Já o número de vagas disponíveis nos campos permanece relativamente constante, provavelmente uma margem de segurança adotada durante a operação. Já as vagas planejadas apresentam uma grande variação. Essa variação pode ser explicada pela imprevisibilidade da operação, o que levava os tomadores de decisão a planejar diversos cenários.

Figura 16 - Variação da ocupação, disponibilidade e planejamento dos campos no decorrer dos meses em milhares de famílias

Fonte: Dados compilados de 49 relatórios semanais disponibilizados pelo *ReliefWeb*

A Tabela 7 apresenta a lista de campos que serão considerados para o modelo, suas coordenadas geográficas e a máxima ocupação durante o período em que foram coletadas as informações.

Os dados utilizados eram publicados conforme a operação avançava e, portanto, após o ponto estabelecido para a tomada de decisão do modelo. Entretanto, eles foram utilizados no modelo de modo a torná-lo mais consistente com a realidade.

Tabela 7 - Campos de internamente deslocados utilizados no modelo

Nome do campo	Agência responsável	Ocupação máxima (Nº de famílias)	Latitude	Longitude
Al Sh'hamah	MODM	715	34,82049	43,513280
Al-Alam/Rubeida	MODM	750	34,81871	43,578686
Hasansham	MODM	7000	36,30807	43,543710
Qayyarah Jad'ah	MODM	15350	35,74206	43,265796
Qaymawa	UNHCR	1030	36,48878	43,514031
Narziglia 1	MODM	3158	36,61898	43,309526
Qayyarah Airstrip	IOM	10000	35,75734	43,278476
Haj Ali	IOM	7435	35,75198	43,322008
Hasansham 3	UNHCR	1936	36,32304	43,539500
Hasansham 2	UNHCR	1560	36,30727	43,536020
Hasansham M2	MODM	5953	36,33697	43,554260
Tel Aswad (Chamakol)	UNHCR	2400	36,25312	43,525750
Zelikan	MODM	266	36,48878	43,514031
Hammam al-Aliel	MODM	4000	36,16203	43,2469705
Al-Alam 1	UNHCR	500	34,81871	43,578686
Debaga 1	MODM	2397	35,88233	43,809100
Debaga 2	UNHCR	1500	35,87514	43,799864
Laylan C	UNHCR	949	35,32957	44,530159
Debaga Stadium	UNHCR	400	35,86772	43,814007
Al Sh'hamah	UNDP	415	34,82049	43,513280
Laylan C	MODM	810	35,32957	44,530150
Hammam al-Aliel 2	UNHCR	4672	36,15413	43,238020
Al-Alam (all)	MoMD&UNHCR	1250	34,81871	43,578686
As Salamyiah 1&2	N.Gov&UNHCR	6544	36,15374	43,320886

MODM - Ministry of Displacement and Migration; UNHCR - United Nations High Commissioner for Refugees; IOM - International Organization for Migration; UNDP - United Nations Development Programme

Fonte: Adaptado de DTM-IOM, *ReliefWeb* e REACH

Para simplificar o sistema e melhorar a compreensão os campos foram distribuídos entre três agências fictícias de diferentes tamanhos (grande, médio e pequeno porte) em vez

de utilizar as agências que realmente coordenaram cada um dos campos. Como mencionado anteriormente, o modelo proposto tem um objetivo didático e estas simplificações não prejudicam os objetivos do trabalho.

4.7 PONTOS DE GARGALO

Rotas com alto grau de impedimento de acesso são consequência, principalmente, de checagem de documentação e infraestrutura inadequada. A localização dos pontos de checagem é conhecida previamente (com alguma incerteza), já aqueles causados pela ruptura de infraestrutura ocorrem inesperadamente em locais muitas vezes imprevisíveis. Sendo assim, no SSD educacional desenvolvido, foi permitido ao instrutor a configuração da localização e quantidade dos pontos de gargalo para adaptar o estudo de caso. Isso permitirá que o instrutor discuta diferentes condições durante um treinamento.

4.8 TIPOS DE CAMINHÕES E FRETE

No Iraque, durante a operação em estudo, eram encontrados com facilidade prestadores de serviço de carga com caminhões de tamanhos variados, entretanto, não era praticado o uso de carga fracionada. Como não foram encontrados dados confiáveis dos custos de transporte, optou-se por utilizar dados brasileiros de frete, pois têm a mesma ordem de grandeza que do Iraque. O uso de dados brasileiros não prejudicará a compreensão dos conceitos que se pretende ensinar utilizando a ferramenta. Foi utilizada a regressão linear apresentada por Yoshizaki (2002) com dados históricos da Fundação Vanzolini (2000) em função das distâncias em quilômetros convertida de Reais para Dólares da época. Sendo assim o custo de frete/kg em USD é dado pela Equação (13).

$$Custo_{frete} = 40,506 + 0,1806 \cdot Distância \quad (13)$$

4.9 DISTÂNCIAS E GRAFO

Utilizando o Maps JavaScript API do Google, foram traçadas todas as rotas possíveis entre todos os nós do problema, a saber: origens, destinos e entroncamentos rodoviários. Com esses dados, foi desenvolvido um grafo a partir da malha viária iraquiana e estimado o tempo de viagem e o comprimento de cada arco. A Figura 17 apresenta o mapa do Iraque com as cidades candidatas, com os campos de deslocados internos e o grafo representativo da malha viária equivalente. A utilização desse grafo permitirá a escolha de uma rota entre dois pontos ponderando o número de pontos de gargalo, o tempo de viagem e a distância de acordo com os pesos dados para cada objetivo.

Figura 17 - Mapa com os principais pontos do modelo. Na imagem são mostrados os campos da três agências (círculos com fundo azul, rosa e verde), as cidades candidatas (fundo amarelo), o caminho de entrega para o campo selecionado (arcos azuis) e os checkpoints, onde os arcos são interrompidos (arcos vermelhos). No fundo é exibido o mapa da região de Mossul.

Fonte: Autor

4.10 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CASO

O caso desenvolvido neste capítulo tem como intenção retratar um caso real de logística humanitária utilizando dados reais da operação. Como apresentado, alguns dados foram simplificados e outros, que não estavam disponíveis, foram estimados. O capítulo a seguir detalha o modelo matemático desenvolvido.

5 MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático lida com um problema estático com múltiplos objetivos para localizar múltiplas instalações dentre uma relação de opções viáveis. Foi utilizada a Programação Linear Inteira Mista (PLIM) para estruturar o problema, inspirada inicialmente no modelo de localização de armazéns com capacidade limitada apresentado por Daskin (1995), com as modificações para considerar diferentes tamanhos e tipos de armazéns apresentado por (Yoshizaki, 2002), conforme visto no Capítulo 2. Nesses modelos de localização, os custos de transporte entre os pontos de interesse são calculados considerando a rota com o menor custo. Entretanto, como um dos objetivos do problema é minimizar o risco médio de atraso (representado pelo número de *checkpoints* em uma dada solução), nem sempre a rota com o menor custo de transporte será a rota ideal. A fim de incorporar essa característica, o modelo final foi estruturado considerando o modelo de localização com grafos descrito em Winston (2004) e apresentado no Capítulo 2.

5.1 DESCRIÇÃO DO MODELO

A função objetivo será formulada utilizando os limites máximos e mínimos dos valores de cada objetivo baseado no modelo proposto por Ransikarbum e Mason (2016). No sistema de suporte a decisão desenvolvido, o usuário pode interagir com o modelo e alterar determinados parâmetros, como por exemplo os pesos de cada critério na função objetivo. A seguir é apresentado o modelo matemático proposto. A Figura 18 apresenta uma ilustração esquemática do modelo matemático. O modelo pode ser representado como um conjunto de grafos, um para cada campo, em que a demanda será diferente de zero apenas no nó que representa a localização deste campo. Os grafos serão ligados pelas capacidades e abertura dos armazéns. Se um armazém é aberto em um grafo, ele será aberto para todos os grafos e sua capacidade será a soma do uso deste armazém em cada um dos grafos.

Fonte: Autor

A Tabela 8 apresenta os conjuntos utilizados no modelo, a Tabela 9 os parâmetros que são determinados pelo usuário do sistema de suporte a decisão, a Tabela 10 traz as variáveis e a Tabela 11, os parâmetros fixos utilizados no modelo.

Tabela 8 - Conjuntos utilizados no modelo

Conjunto	Descrição	Tamanho
N	Campos de IDP que devem ser abastecidos	24
I	Nó da rede (origens, destinos e entroncamentos)	47
K	Tipos de instalações. O primeiro valor do conjunto (zero) representa a não escolha do lugar para receber um armazém	12
O	Conjunto de objetivos	3

Fonte: Autor

Tabela 9 - Parâmetros que são determinados pelo usuário

Parâmetro	Descrição	Unidade
w_o	Pesos de cada objetivo $o \in O$ na função objetivo	Adimensional
f_{in}	1, se um armazém localizado no nó $i \in I$ pode abastecer o campo $n \in N$	Adimensional

Fonte: Autor

Tabela 10 – Variáveis utilizadas no modelo

Variável	Descrição	Unidade
B_{in}	Quantidade de suprimentos entregues no campo $n \in N$ pelo armazém localizado no nó $i \in I$	kg
Z_{ik}	1, se no nó $i \in I$ for aberto um armazém do tipo $k \in K$ e 0, caso contrário	Binária
X_{abn}	Fluxo de produtos saindo do nó $a \in I$ para o nó $b \in I$ e que irão abastecer o campo $n \in N$	kg
N_TEMPO	Maior tempo de entrega médio entre os tempos de entrega médios de todos os campos	Dias
N_GARG	Maior quantidade de pontos de gargalo médios entre as quantidades médias de todos os campos	Adimensional
$CUSTO$	Custo total da operação em um período de 6 meses	USD

Fonte: Autor

Tabela 11 - Parâmetros fixos utilizados no modelo

Parâmetro	Descrição	Unidade
a_{ik}	Parâmetro binário que indica se o nó $i \in I$ pode receber um armazém do tipo $k \in K$	Adimensional
t_{ab}	Tempo de viagem entre o nó $a \in I$ e o nó $b \in I$	Minutos
p_{ab}	Parâmetro binário que indica se existe um ponto de gargalo entre o nó $a \in I$ e o nó $b \in I$	Adimensional
d_{in}	Demanda do nó $i \in I$ referente ao campo $n \in N$ para o período analisado	kg
$cFixo_k$	Custo fixo semestral do armazém de tipo k para o período analisado	USD/semestre
cap_k	Capacidade de movimentação do armazém de tipo k para o período analisado	Toneladas
$cTransp$	Custo de transporte entre os nós $a \in I$ e $b \in I$	USD/kg
H_o	Limite superior do valor da função objetivo $o \in O$	Depende de o
L_o	Limite inferior do valor da função objetivo $o \in O$	Depende de o

Fonte: Autor

A seguir são apresentadas as restrições do modelo.

$$\sum_{n \in N} f_{in} \cdot B_{in} \leq \sum_{k \in K} a_{ik} \cdot Z_{ik} \cdot cap_k \quad \forall i \in I \quad (17)$$

$$\sum_{k \in K} a_{ik} \cdot Z_{ik} = 1 \quad \forall i \in I \quad (18)$$

$$\sum_{\substack{a \in I \\ a \neq i}} X_{ian} - \sum_{\substack{b \in I \\ b \neq i}} X_{bin} = f_{in} \cdot B_{in} - d_{in} \quad \forall i \in I, n \in N \quad (19)$$

$$\sum_{i \in I} d_{in} \leq \sum_{i \in I} B_{in} \quad \forall n \in N \quad (20)$$

$$\sum_{a \in I} \sum_{\substack{b \in I \\ b \neq a}} \sum_{n \in N} X_{abn} \cdot cTransp_{ab} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} Z_{ik} \cdot cFixo_k = CUSTO \quad (21)$$

$$\left(\sum_{a \in I} \sum_{\substack{b \in I \\ b \neq a}} X_{abn} \cdot t_{ab} \right) / \sum_{i \in I} d_{in} \leq N_TEMPO \quad \forall n \in N \quad (22)$$

$$\left(\sum_{a \in I} \sum_{\substack{b \in I \\ b \neq a}} X_{abn} \cdot p_{ab} \right) / \sum_{i \in I} d_{in} \leq N_GARG \quad \forall n \in N \quad (23)$$

$$B_{in} \geq 0 \quad \forall i \in I, n \in N \quad (24)$$

$$Z_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (25)$$

$$X_{abn} \geq 0 \quad \forall a \in I, b \in I, n \in N \quad (26)$$

$$N_TEMPO \geq 0 \quad (27)$$

$$N_GARG \geq 0 \quad (28)$$

$$CUSTO \geq 0 \quad (29)$$

As restrições (17) garantem que cada capacidade de abastecimento dos armazéns será respeitada. As restrições (18) determinam que para cada nó deve ser aberto um e somente um tipo de armazém, onde o primeiro elemento do conjunto K representa um armazém de capacidade e custos nulos, isto é, que neste nó não será aberto um armazém. As restrições (19) são referentes ao balanço de massa para cada nó. As restrições (20) asseguram que as demandas serão totalmente atendidas.

A restrição (21) calcula o custo total da operação. Sua primeira parte calcula os custos de transporte enquanto a segunda parte, os custos fixos dos armazéns. A restrições (22) determinam o maior tempo de entrega médio entre os tempos de entrega médios de todos

os campos. Para cada campo é calculado o tempo de entrega médio ponderado pela demanda. E a variável N_TEMPO será igual ao maior tempo médio entre todos os campos. As restrições (23) determinam, de modo similar as restrições (22), a maior quantidade de pontos de gargalo médios entre as quantidades médias de todos os campos.

Por último, as restrições (24) à (29) definem o domínio das variáveis. Elas garantem a não negatividade e os valores binários.

A função objetivo busca maximizar a equação:

max

$$w_1 * \left(\frac{H_1 - CUSTO}{H_1 - L_1} \right) + w_{sl} * \left(w'_2 * \left(\frac{H_2 - N_TEMPO}{H_2 - L_2} \right) + w'_3 * \left(\frac{H_3 - N_GARG}{H_3 - L_3} \right) \right) \quad (30)$$

$$w_1 + w_{sl} = 1 \quad (31)$$

$$w'_2 + w'_3 = 1 \quad (32)$$

$$w_2 = w_{sl} * w'_2 \quad (33)$$

$$w_3 = w_{sl} * w'_3 \quad (34)$$

Para normalizar os valores dos objetivos com diferentes unidades de medidas foi utilizada uma função objetivo adaptada da apresentada por Ransikarbum e Mason (2016). Assim, para cada parcela da função objetivo, quando o valor de um objetivo for igual ao seu valor mínimo, a parcela resultará em um, e quando o valor for igual ao máximo, a parcela resultará em zero. O máximo valor da função objetivo é um e o mínimo é zero.

No modelo proposto por Ransikarbum e Mason (2016) para cada um dos três objetivos, é necessário calcular os seus valores máximos (H_o) e mínimos (L_o). Para isso foram realizadas otimizações do modelo para determinados objetivos. Para determinar o valor de custo mínimo possível (L_1), o modelo foi otimizado buscando minimizar a variável $CUSTO$. Para determinar o valor de custo máximo possível (H_1), o modelo foi otimizado buscando minimizar a variável N_TEMPO , a partir desse resultado também se obteve o mínimo valor do tempo de entrega (L_2). Para este segundo caso, dentre as várias

soluções possíveis com o mínimo valor de tempo de entrega, buscou-se aquela com o menor custo. A Tabela 12 apresenta os valores encontrados.

Tabela 12 - Limites mínimos e máximos dos valores dos objetivos

Parâmetro	Valor encontrado
L_1	\$1.326.020,00
H_1	\$4.705.740,00
L_2	0
H_2	5 horas
L_3	0

Fonte: Autor

O menor tempo de entrega e o menor número de pontos de gargalo são obtidos com a abertura de um armazém em cada campo e, portanto, serão sempre iguais a zero. Como será permitido ao instrutor alterar a localização e a quantidade dos pontos de gargalo, o valor máximo deste objetivo será calculado pelo sistema. O valor de H_3 é determinado com o valor da variável N_GARG da solução de menor valor de N_TEMPO dentre aquelas com menor custo.

5.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

O modelo foi implementado em linguagem *Python*, em sua versão 3.6, utilizando o otimizador *Gurobi Optimizer 9.0*. Foram criadas variáveis adicionais para os tempos de entrega e quantidade de pontos de gargalo de cada campo. Essas variáveis serão utilizadas para permitir ao usuário avaliar individualmente a situação de cada campo. Com essas novas variáveis, o modelo possui 54 195 variáveis contínuas, 376 variáveis binárias e 1347 restrições.

Após o processamento do modelo pelo otimizador, é exportado um arquivo com os valores das variáveis não nulas. Esse arquivo é lido pelo sistema para gerar a visualização dos resultados para o usuário.

5.3 ESTUDO DOS RESULTADOS DO MODELO DE UMA INSTÂNCIA-TESTE

A fim de realizar um estudo das características do modelo e o seu comportamento com a variação dos pesos, foi construída uma instância de verificação para um conjunto de pontos de gargalo definidos. A Figura 19 apresenta os arcos que possuem pontos de gargalo destacados de vermelho.

Figura 19 - Pontos de gargalo da instância de estudo (em vermelho)

Fonte: Autor

Foram realizados 2601 processamentos variando os pesos w_1 e w'_2 em incrementos de 0,02 para cada peso (vide Figura 20), com os gargalos seguindo a Figura 19. Os resultados foram gerados em computador com Microsoft Windows 10 Pro, processador Intel® Core™ i7-10710U com frequência de 4,7 GHz, 32 GB de memória RAM e disco rígido de estado sólido.

Conforme visto anteriormente (Capítulo 2), o tempo de processamento adequado para trabalhos em grupos deve ser em torno de um minuto. Para este estudo teste, 40% das otimizações foram realizadas em menos de 5,5 segundos, 90% abaixo de 40 segundos e apenas 4,5% acima de 500 segundos. Podemos concluir assim que o sistema atenderá os requisitos de tempo de processamento na maioria dos casos. A Figura 20 mostra os tempos obtidos para todas as otimizações. Como podemos observar, existem alguns picos na região em que o peso relativo aos custos é inferior a 0,2.

Fonte: Autor

A Figura 21 apresenta a variação do tempo de entrega máximo com a variação dos pesos. Para valores do peso de custos inferiores a 0,25 o tempo de entrega máximo é praticamente nulo implicando que para estes casos foi aberto um armazém em cada campo. Os máximos tempos são obtidos quando o peso do tempo de entrega máximo fica próximo de 0, isto é, o modelo tenta minimizar a quantidade de pontos de gargalo. Para os demais casos o tempo de entrega aumenta gradualmente conforme o peso dos custos aumenta de forma que o modelo priorize mais os custos que os outros dois objetivos.

Figura 21 – Gráfico do tempo de entrega máximo com a variação dos pesos

Fonte: Autor

A análise dos custos é apresentada na Figura 22. Observa-se que existe uma variação entre \$500.000 e \$2.000.000, sem variações abruptas para peso dos custos maiores que 0,25. Para os valores do peso inferiores a 0,25, isto é, cenários que priorizam os níveis de serviço, os custos se elevam de forma abrupta com valor máximo próximo de \$4.500.000. Nestes cenários, o modelo abre 24 armazéns, sendo um em cada campo, mantendo tanto o tempo de entrega quanto a quantidade de pontos de gargalo nulos para todos os campos.

Fonte: Autor

6 O SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO

Este capítulo descreve o sistema de suporte à decisão que está no centro desta dissertação. Inicialmente, a decisão é contextualizada em um estudo de caso didático. Em seguida, cada componente do sistema é detalhado em suas características e as principais escolhas do seu projeto são explicadas. Finalmente, potenciais formas de aplicação são propostas e discutidas no fechamento do capítulo.

6.1 CONTEXTO PARA APLICAÇÃO DO SISTEMA

O Sistema de suporte a decisão (SSD) foi desenvolvido para auxiliar no treinamento de pessoal que atua em logística humanitária. O SSD visa permitir aos alunos compreender de maneira prática conceitos importantes da logística, como custos totais, consolidação de armazéns, tempo de entrega e nível de serviço, entre outros. Com o seu uso é possível entender a variação de uma rede logística em diferentes cenários, como, por exemplo, diferentes quantidades de pontos de gargalo, características de armazéns disponíveis e cooperação entre organizações. Ele pode ser empregado para estimular o trabalho em grupo e a colaboração interagências para atingir objetivo comum.

O caso foi inspirado no problema de localização de armazéns para abastecimento de campos de deslocados no norte do Iraque durante a ofensiva para retomada de Mossul (vide Capítulo 4). Sua aplicação foi idealizada como uma atividade que simula uma reunião de tomada de decisão entre **três** agências humanitárias responsáveis por diferentes campos. Os alunos representarão os responsáveis das agências. O instrutor deve exercer o papel do coordenador do *Logistic Cluster*, auxiliando na compreensão dos conceitos e conduzindo os alunos para convergir para uma decisão.

Os alunos devem ser desafiados a buscar a melhor solução dentro de um tempo pré-determinado. Para tanto, eles devem interagir diretamente com o modelo de otimização descrito no Capítulo 5 através do SSD durante um período que pode variar entre 40 e 80 minutos. Ao término desse tempo, os alunos devem apresentar a solução selecionada e

explicar o raciocínio utilizado durante a dinâmica. Esta explicação auxiliará na fixação do conhecimento e permitirá ao instrutor verificar se existe algum conceito não compreendido ou compreendido erroneamente e dar o devido *feedback* ao grupo.

O estudo de caso inicialmente sugerido é detalhado no Anexo 2. A leitura do caso deve ser uma atividade anterior à interação em grupo, de forma que os alunos já terão familiaridade com os papéis e o problema a ser resolvido.

O ponto de partida é o cenário inicial do SSD, que é a maneira original da operação logística das agências: cada agência administra uma cadeia independente, onde cada um dos seus campos de deslocados tem seu próprio armazém dentro do campo, isto é, há tantos armazéns quantos campos. O desafio do caso é verificar se há vantagens em fundir suas cadeias logísticas, tendo como alternativas:

- a) a fusão de armazéns de campos próximos em um *cluster* que atenderá a todos os campos do *cluster*, rateando custos fixos, e/ou;
- b) utilizar infraestrutura mais produtiva, o armazém *hard cover*, com a desvantagem do *hard cover* ficar mais distante, com diminuição do nível de serviço devido ao maior tempo de atendimento e ao potencial risco ocasionado por *checkpoints*.

Para explorar potenciais alternativas, os alunos podem alterar os pesos dos critérios (custo e nível de serviço, este último dividido entre prazo médio de entrega e quantidade de *checkpoints*, que é uma *proxy* para o risco de abastecimento) e calcular uma solução ótima para esses pesos e/ou impor condições de abertura forçada de armazéns.

Caso o instrutor queira, poderá inserir características adicionais aos papéis dos alunos, como uma agência que não deseja trabalhar em conjunto com outras, ou restrições orçamentárias em uma agência, entre outros. Essas funcionalidades para o *setup* do caso estão descritas mais abaixo.

6.2 DESCRIÇÃO GERAL DO SSD

O sistema simula a tomada de decisão sobre onde instalar os armazéns para a operação de resposta buscando conciliar diferentes objetivos, ponderando entre redução de custos e melhoria de nível de serviço. Os usuários deverão definir os pesos de cada objetivo, escolher se irão operar em conjunto com as demais agências envolvidas e poderão definir se um local candidato não poderá ter um armazém ou forçá-lo a ter um armazém. Para cada um dos cenários criados, o usuário tem acesso a gráficos, mapas e tabelas comparativas.

O SSD foi projetado para ser utilizado com uma interface interativa através de monitores *touchscreen* de alta resolução, como disponível no CISLOG/USP (Figura 23). O sistema pode também utilizar interface via mouse, com algumas funcionalidades adaptadas. Para permitir seu uso por uma audiência internacional, foi empregada a língua inglesa.

Figura 23 - O autor interage via *touchscreen* com versão anterior de um SSD no CISLOG/USP.

Fonte: CISLOG/USP

A tela de abertura, Figura 24, apresenta os nomes do autor e de seu orientador, além das agências de fomento que financiaram o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 24 - Tela de abertura do sistema

Fonte: Autor

Para rodar o estudo do caso, o sistema é constituído de uma **única tela com todas as funcionalidades**. Isso garante que todo o processo de análise não necessita da alternância entre telas diferentes e, assim, reduz a carga cognitiva pela redução do uso da memória de curto prazo pelos participantes (Ware, 2012). A Figura 25 apresenta a tela do sistema onde todas as interações dos estudantes são realizadas. Por isso, a designação de espaço físico para cada funcionalidade do SSD foi especialmente considerada e necessitou de muitos testes e ajustes até chegar à configuração final.

Figura 25 - Tela principal do sistema

Fonte: Autor

A Figura 26 destaca os oito módulos presentes, delimitados com molduras de cores diferentes. A Tabela 13 lista cada um destes módulos com sua respectiva cor de moldura e área proporcional ocupada da tela (em %). Os tamanhos dos vários módulos foram dimensionados considerando uma tela *full HD* de 1920 x 1080 pixels.

Fonte: Autor

Tabela 13 - Descrição dos módulos do sistema e área utilizada da tela		
Cor	Módulo	Área utilizada
1 – Menu principal	2,4%
2 – Árvore de critérios e peso dos objetivos	5,1%
3 – Lista de locais candidatos	11,5%
4 – Inicia a otimização e exibe gráficos comparativos após a otimização	7,0%
5 – Tabela resumo dos cenários gerados	18,0%
6 – Mapa do cenário atual	24,4%
7 – Mapa do cenário favorito	18,2%
8 – Gráficos comparativos	8,6%

Obs.: Área usada pelos logotipos é de 3,3%; área abaixo do Menu Principal reservada para futura expansão de funções (1,5% da área).

Fonte: Autor

O sistema tem dois modos distintos: um para configuração de um novo cenário, com controles para definição dos valores de entrada, e um para exibição dos resultados. Um *cenário* é uma configuração particular da rede logística, ou seja, uma alternativa ou solução específica que atende determinados pesos entre critérios e/ou restrições. O usuário pode alternar facilmente entre eles. Na parte superior do sistema é indicado se o sistema está em modo de criação de cenário “*CREATING A NEW SCENARIO*” (Figura 27) ou exibindo um resultado “*SCENARIO X*”. Basicamente, os módulos à esquerda (1 a 3) geram os resultados mostrados nos módulos centrais para análise pelo grupo (4 a 8), o que mostra a ênfase do SSD na avaliação e escolha de alternativas. As seções a seguir detalham cada uma das funcionalidades do sistema em seus respectivos módulos.

Figura 27 - Detalhe da indicação do modo do sistema

Fonte: Autor

6.3 MENU PRINCIPAL (MÓDULO 1)

O MENU PRINCIPAL (em amarelo na Figura 26) contém cinco funções de seleção de modo (geração de novos cenários para análise) e de aparência dos mapas. Ele ocupa somente 2,4% da tela e está posicionado fora da região central para permitir o foco do grupo na discussão e análise dos resultados (módulos 4 a 8). A Figura 28 mostra os detalhes do MENU PRINCIPAL.

Figura 28 - Detalhes do menu principal (vide texto principal)

Fonte: Autor

Os botões na parte superior do menu principal, Figura 28a, permitem ao usuário controlar o *zoom* dos mapas e centralizar o mapa de volta a sua posição inicial. Esses controles de *zoom* são fundamentais no uso de interface via *mouse* mas redundantes quando um *touchscreen* está disponível.

A Figura 28b exibe os controles que permitem aos usuários escolher entre fundo claro ou escuro para os mapas; normalmente é empregado no início de uma sessão, conforme a preferência da equipe e o nível de iluminação da sala, pois fundos claros são melhores em ambientes bem iluminados e fundos escuros em locais escurecidos.

Quando o sistema está exibindo um resultado, os controles da Figura 28c exibem no mapa as rotas partindo de um campo ou cidade selecionada que possui um armazém ou todas as rotas chegando à um campo selecionado. Isso permite aos participantes visualizar detalhes de fluxos e caminhos para um determinado cenário (solução de uma instância).

Uma função fundamental é a criação de novos cenários: existem duas opções disponíveis, conforme a Figura 28d. O botão “*Blank*” cria um cenário em branco, retornando todas as entradas para seus valores padrões (*default*), o que permite à equipe manipular os mesmos à vontade. Já o botão “*From this*” cria um novo cenário a partir de um cenário existente, definindo as entradas com os valores (solução) do cenário selecionado. Isso permitirá ao usuário realizar pequenas modificações para gerar um novo cenário.

A Figura 28e apresenta um botão que permite ao usuário trocar o menu principal do canto lateral esquerdo para o canto direito (e vice-versa) e um botão que exibe a tela de abertura do sistema (Figura 24). A função de movimentação do menu facilita o compartilhamento dos comandos entre membros do grupo quando a tela é de maiores dimensões, como visto na Figura 23. Abaixo do menu principal há uma área não usada para futuras inclusões de novas funcionalidades.

6.4 ÁRVORE DE CRITÉRIOS E PESO DOS OBJETIVOS (MÓDULO 2)

A Figura 29 apresenta a árvore de critérios dos objetivos do sistema e seus respectivos pesos, conforme descrito no Capítulo 5, e segue a discussão de Yoshizaki e Montibeller (2009). Ao criar um novo cenário, o usuário utiliza as barras laranjas para distribuir os pesos entre os ramos da árvore e, assim, explorar o espaço de soluções do modelo. No exemplo da imagem, o peso para o custo total é igual a 0,75, o peso para o tempo de entrega é igual a $(0,25 \times 0,70)$ e o peso para a quantidade de pontos de gargalo é de $(0,25 \times 0,30)$.

Também é exibida ao usuário as funções de valor para cada objetivo, que para o modelo em estudo é uma reta entre os valores máximos e mínimos de cada objetivo puro. O SSD calcula a solução ótima para uma dada combinação de pesos; como as funções de valor são lineares, obtém-se soluções de Pareto (Keeney e Raiffa, 1993). Como os alunos podem forçar a abertura ou fechamento de armazéns a partir de uma solução calculada (são variáveis binárias), eles podem explorar soluções dominadas fora da fronteira de Pareto (vide item abaixo – Módulo 3). É possível alterar o formato das funções de valor usando o *mouse* em modo *click&drop* nos pontos que aparecem nos gráficos, mas esta função foi desabilitada nesta versão final.

Quando o sistema estiver exibindo um resultado, as barras laranjas permanecem travadas no valor dos pesos do cenário.

Figura 29 - Árvore de critérios e peso dos objetivos

Fonte: Autor

6.5 LISTA DOS LOCAIS CANDIDATOS (MÓDULO 3)

A maneira dos participantes explorar soluções fora da fronteira de Pareto é pela manipulação direta da abertura ou fechamento de armazéns. A lista dos locais candidatos (Figura 30a) apresenta os campos, separados por agências (A, B e C, com cores distintas), e as cidades que podem receber um armazém. Em amarelo são exibidos os valores referentes ao cenário favorito selecionado (vide Módulo 6). O símbolo de cadeado indica que foi uma condição forçada pelo usuário, ou seja, é obrigatória a abertura de um armazém de determinada capacidade naquele local.

No modo de criação de cenários, os valores em roxo exibem as escolhas do usuário. Ao selecionar um campo é exibida a lista da Figura 30b onde o usuário pode definir um dos tipos de armazéns disponíveis nos campos de acordo com a numeração da Tabela 5 e ao seleciona uma cidade é exibida a lista da Figura 30c onde o usuário pode definir um dos tipos de armazéns disponíveis nas cidades Tabela 6 (valores 1, 2 e 3 no exemplo da imagem), excluir esse local candidato selecionando “X” ou deixar que a escolha seja feita pelo modelo selecionando “?”, essa última é a seleção padrão ao se criar um novo cenário em branco.

Os botões “Coop” (Yes/No) permitem selecionar se determinada agência participará de uma operação cooperativa ou não.

As várias opções abertas para os alunos dão grande flexibilidade para avaliar diferentes alternativas, que sempre terão seu valor ótimo dadas as restrições adicionais impostas. Isso facilita a preparação de questões e casos específicos pelo instrutor; por exemplo, uma cidade pode ter seu armazém *hard cover* indisponível por alguma razão justificada no texto do caso, como a mudança da direção da ofensiva para retomada de Mossul.

Figura 30 – Lista dos locais candidatos

CANDIDATES SITES

CITIES

Erbil ? X ?	Kirkuk ? X ?
Dahuk ? X ?	Al-Hamdaniya ? X ?
Tikrit ? X ?	

Agency A

Coop: ☒ Yes ☐ No

Al-Alam 1 ? 4	Hasansham M1 ? 4
Zelikan ? 4	Chamakor ? 4
Hasansham U3 ? 4	Laylan ? 4
Hamam al-Alil-1 ? 4	Debaga 2 ? 4

Agency B

Coop: ☒ Yes ☐ No

Al Shamah 1 ? 4	Hamam al-Alil-2 ? 4
Debaga 1 ? 4	Al-Alam 3 ? 4
Qayyarah Jad ah ? 5	

Agency C

Coop: ☒ Yes ☐ No

Narziglia ? 4	Al-Alam 2 ? 4
Debaga Std. ? 4	Al Shamah 2 ? 4
Qayyarah Air. ? 4	Qaymawa ? 4
Haj Ali ? 4	Hasansham M2 ? 4
Laylan 1 ? 4	As Salamyiah ? 4
Al Shamah 1 ?	Hasansham U2 ? 4

Chamakor X ? 4 5 6 7
4

(b) Tipos de armazém para um campo

Al-Hamdaniya X ? 1 2 3
X ?

(c) Tipos de armazém para uma cidade

(a) Lista de lugares candidatos
Fonte: Autor

6.6 INICIAR OTIMIZAÇÃO (MÓDULO 4)

Uma vez que o cenário tenha sido preparado (módulos 1, 2 e 3), os usuários podem ‘clique’ o botão ‘*Press to optimize*’ para iniciar a otimização do mesmo (vide Figura 26, logo à direita do módulo 2, árvore dos critérios). Uma vez finalizada a otimização, os resultados aparecem imediatamente no mapa principal (módulo 5) e gráficos com valores comparativos do cenário atual (que acabou de ser processado) *versus* o cenário favorito (vide abaixo para detalhamento no Módulo 8) surgem no espaço deste módulo.

6.7 TABELA RESUMO DOS CENÁRIOS GERADOS (MÓDULO 5)

Os cenários gerados durante uma sessão estão resumidos na tabela da Figura 31, o que permite aos alunos ter uma visão geral e comparativa dos seus desempenhos. As colunas 1 e 2 da tabela identificam um determinado cenário, respectivamente: seu número e seus pesos para os critérios custo total e tempo de entrega, usados no cálculo da sua solução de valor ótimo. Não há necessidade de mostrar os quatro pesos da árvore de critérios pois cada barra soma 100%, assim basta mostrar apenas os pesos de um dos critérios da respectiva barra. Por exemplo, no cenário 2, 61/49 significa que o peso para custo foi 61% (portanto, 39% para nível de serviço) e para o tempo de entrega foi 49% (portanto, 51% para número de gargalos).

As colunas 3, 4 e 5 mostram indicadores de desempenho globais do sistema, respectivamente: o custo total da operação, o maior tempo de entrega médio por campo e o maior número médio de pontos de gargalo por campo.

As próximas 3 colunas (6, 7 e 8) exibem os custos totais para cada uma das agências utilizando uma escala de cores que compara o cenário da linha com o cenário inicial; o verde indica que o custo é menor com melhora do nível de serviço, o laranja indicando que houve redução nos custos mas com piora nos níveis de serviço e o amarelo indicando uma piora nos custos. Ao clicar nessas células são exibidos os níveis de serviço dos campos como podemos ver na Figura 31 para o cenário 4.

A coluna 9 *Constraints* exibe se o cenário possui restrições de abertura de armazéns inseridas pelo usuário. Ao clicar na célula, são especificadas as restrições inseridas como podemos ver na Figura 31 para o cenário 6.

As três últimas colunas permitem ao usuário, respectivamente: escolher o cenário favorito (no caso, a fita amarela realçada mostra que é o cenário 3); remover o cenário dos gráficos comparativos (vide módulo 8); e eliminar o cenário, se for o caso. O número máximo de cenários que podem aparecer na tabela é doze.

Figura 31 - Tabela resumo dos cenários gerados

SCENARIOS download log file										
#	\$ / 🚚	Cost \$	SL 🕒	SL 📦	Cost A \$	Cost B \$	Cost C \$	Constraints	🔔	🗑️
1	---	\$ 4 705 740	0.00 h	0.00	\$ 1 563 840	\$ 1 051 400	\$ 2 140 300	5 Constraints	🔔	🗑️
2	61 / 49	\$ 1 892 490	1.69 h	0.00	\$612 029	\$434 172	\$846 284	---	🔔	🗑️
3	96 / 2	\$ 1 820 590	3.79 h	0.00	\$435 409	\$375 769	\$736 045	---	🔔	🗑️
4	96 / 2	\$ 1 820 590	3.79 h	0.00	\$435 409	\$375 769	\$736 045	---	🔔	🗑️
5	89 / 81	\$ 1 530 140	2.85 h	0.98	\$374 113		\$594 662	---	🔔	🗑️
6	92 / 81	\$ 1 874 840	2.85 h	1.00	\$497 772		\$776 461	4 Constraints	🔔	🗑️

Dehaga-1 1.12h
 Hammam-al-Ahlt-2
 1.00h
 Al-Shamah-1 0.98h
 Al-Alam-3 0.65h

Zelikan - X
 Hasansham U3 - 7
 Al-Alam - X
 Al-Alam - 7

Fonte: Autor

No canto superior, em azul, existe a opção para gerar os arquivos de log da seção atual (*download log file*). O sistema gera um arquivo .csv com a tabela resumo e a lista de armazéns abertos para cada um dos cenários e os arquivos de resultados de todos os cenários em arquivos .txt. Esses arquivos servem para permitir ao instrutor analisar resultados de diferentes sessões de aplicação por grupos diferentes.

6.8 MAPA DO CENÁRIO ATUAL (MÓDULO 6)

O mapa principal (Figura 32) exibe a disposição dos campos (ícones em azul, rosa e verde de acordo com as agências), das cidades (ícones em amarelo) e as possíveis rotas entre cada um dos pontos. No mapa também são exibidos os arcos com pontos de gargalo (*checkpoints*), destacados de vermelho. Quando está em modo de criação de

cenário é possível, ao clicar em cada ícone, obter as informações de demanda e agência do campo. No fundo é mostrado o mapa da região de Mosul, com todos os principais pontos de referência, como cidades, vias, rios e fronteiras de províncias.

Quando o mapa principal está no modo de exibição de resultados, no canto superior direito é exibido o número do cenário e os pesos utilizados na função objetivo. Também é possível visualizar a rota de entrega para cada um dos campos, conforme exemplo destacado em azul na Figura 32. Assim, o mapa permite ver em detalhes características da solução obtida, incluindo detalhes de fluxos, quais armazéns (*hard cover* ou *clusters*) foram abertos, entre outros. É possível verificar, por exemplo, se há um gargalo no caminho entre um armazém e um campo, que não é uma situação desejável (o modelo minimiza o número médio de gargalos, assim podem surgir gargalos em uma solução). No caso da Figura 32, é mostrado o mapa referente ao Cenário 2, onde, após clicar sobre seu ícone, o Campo Debaga 2 (o ícone em negativo, i.e., com fundo preto e desenho branco, no centro do mapa) mostra o seu fluxo de abastecimento a partir de um armazém *hard cover* localizado a Sudeste (em azul). É o módulo que ocupa o maior espaço da tela (24,4%), dada sua importância no SSD.

Figura 32 – Mapa do cenário atual

Fonte: Autor

6.9 MAPA DO CENÁRIO FAVORITO (MÓDULO 7)

O mapa do cenário favorito serve como referência para avaliar o cenário atual; desta forma, esse mapa é ligeiramente menor para deixar claro que serve apenas como referência. Uma funcionalidade fundamental é que o mapa do cenário favorito está sincronizado com o mapa principal, ou seja, qualquer ação feita no mapa principal é imediatamente espelhada no mapa do cenário favorito. O mapa do cenário favorito segue a mesma convenção de cores do mapa principal.

A Figura 33 mostra um exemplo, onde os resultados do cenário escolhido como favorito (cenário 3 na Figura 31) pelo usuário aparecem à direita, enquanto o mapa da esquerda exibe os resultados do cenário atual (cenário 6). Em azul nos dois mapas aparece a rota de entrega para o campo Debaga-Std, destacado com o fundo em preto, no centro da figura; no cenário favorito, o campo é abastecido a partir de um *hard cover*, enquanto no cenário atual ele é abastecido a partir do seu *cluster*. Ao clicar no campo Debaga-Std no mapa principal, o mapa do cenário favorito é atualizado sincronizadamente.

Figura 33 - Mapa do cenário favorito (à direita)

Fonte: Autor

Desta forma, os módulos 5, 6 e 7 permitem aos participantes fazer rapidamente uma comparação do desempenho dos cenários sob uma ótica de indicadores globais ou sistêmicos (Tabela resumo) e, simultaneamente, verificar detalhes específicos de um único nó do sistema. Pode-se usar aqui a metáfora de ser capaz de enxergar tanto a floresta como uma árvore individual (Yoshizaki e Montibeller, 2009).

6.10 GRÁFICOS COMPARATIVOS (MÓDULO 8)

O sistema possui três gráficos que auxiliam na comparação dos cenários (Figura 34). As cores dos dados nos gráficos são as mesmas da tabela resumo. O primeiro gráfico apresenta os valores de cada objetivo na função de valor do Módulo 2 e é uma medida global que permite verificar se alguma solução (cenário) é dominada por outra. Os outros dois gráficos mostram o desempenho de cada agência individualmente: custos e o número de pontos de gargalo na operação de cada uma das agências.

Figura 34 - Gráficos comparativos

Fonte: Autor

Finalmente, podemos voltar ao Módulo 4. Após a otimização, na área que ficava o botão de otimizar (indicada com o contorno preto na Figura 26), tem-se três gráficos com valores totais (globais), segregados por agência. O primeiro gráfico exibe os custos de cada agência, o segundo gráfico separa a demanda em três faixas distintas de tempo de entrega e o último gráfico separa a demanda em faixas de quantidades de pontos de gargalo.

Figura 35 - Gráficos de barra

Fonte: Autor

6.11 CONFIGURAÇÃO DOS PONTOS DE GARGALO

Antes do início de uma sessão de utilização do sistema é possível configurar a quantidade e a localização dos pontos de gargalo. A Figura 36 exibe a tela de configuração dos pontos de gargalo. Ao clicar nos botões amarelos em cada arco é possível adicionar ou remover o ponto de gargalo do arco. Esta funcionalidade é dirigida ao instrutor.

Figura 36 - Configuração dos pontos de gargalo

Fonte: Autor

6.12 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O SISTEMA

O sistema desenvolvido permite ao usuário criar e comparar diferentes cenários. A experiência dos usuários foi um ponto importante considerado no desenvolvimento de cada uma das funções. Todos os comandos foram desenvolvidos para serem intuitivos e de fácil compreensão para uma pessoa familiarizada com o problema. O sistema foi pensado para ser utilizado tanto em telas sensíveis ao toque quanto com a utilização de *mouse*.

O modelo permite que outros casos possam ser utilizados e sendo de código aberto pode ser alterado para atender outros objetivos.

7 CONCLUSÃO E FUTUROS PASSOS

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de tomada de decisão visual e interativa para realização de treinamentos em logística humanitária. Uma das motivações do trabalho surgiu após os pesquisadores do CISLOG perceberem que alguns alunos tinham dificuldades no entendimento de modelos e ferramentas matemáticas. Também encontram-se na literatura das áreas de logística humanitária e de logística empresarial pesquisas que citam problemas de se utilizar os resultados de pesquisas em casos reais (Green (2000), Gralla (2012), Cavalcanti (2015), Corbett e Van Wassenhove (1993) e Ranyard et al. (2015)). Para que um público não especialista tenha capacidade de utilizar modelos matemáticos para a tomada de decisão, Gralla (2012) sugere que os modelos sejam desenvolvidos em conjunto com os atores. Para Sheffi e Winkenbach (2016), o uso de ferramentas visuais intuitivas tornam acessíveis modelos e análises complexas para profissionais de diferentes áreas.

Foi realizada uma revisão da literatura para entender como são realizadas as pesquisas na área de localização em logística humanitária. Também buscou-se apresentar uma introdução à logística humanitária e seus principais conceitos. Uma pesquisa sobre modelos matemáticos foi realizada em literatura consagrada e em pesquisas recentes a fim de compreender suas características e propor um modelo que atenda as características do problema em estudo.

Para o desenvolvimento do sistema de apoio a decisão foi utilizado o caso da operação de resposta a retomada de Mossul em 2016 estudada pelo CISLOG nos anos seguintes. Como sugerido por Gralla (2012), este trabalho buscou elaborar um modelo em conjunto com um especialista na operação, sendo assim, foram realizadas diversas reuniões com um agente logístico que atuou na operação para a compreensão e a definição do caso em estudo. Cabe dizer ainda, que a consistência com a realidade foi considerada um dos pontos essenciais tanto na elaboração do problema apresentado quanto no desenvolvimento de seu modelo matemático. Os dados foram obtidos com informações

fornecidas pelo agente logístico e através de consulta a relatórios e dados disponibilizados por agências humanitárias.

O sistema de apoio a tomada de decisão em grupo foi desenvolvido a fim permitir o uso de modelos de otimização em logística por não especialistas através de visualização analítica e modelagem matemática interativa. Para alcançar tais objetivos foi criada uma interface interativa que, através de ferramentas visuais, facilita a manipulação de um modelo matemático de otimização para configuração de uma rede de localização e distribuição. O modelo conta com objetivos conflitantes, o que aumenta a complexidade da tomada de decisão. Os objetivos têm pesos associados a eles, ou seja, que variam de 0 a 100 a percepção de importância de cada objetivo para a decisão final da rede logística.

Também foi apresentada uma sugestão de uso do sistema em uma atividade em grupo que simula uma reunião para tomada de decisão (Anexo - 2). A atividade proposta auxilia os alunos na compreensão dos conceitos e modelos matemáticos, no entendimento de alguns *trade-offs* existentes em problemas desta natureza e na compreensão das vantagens e desvantagens de realizar uma operação em conjunto com outras organizações.

O presente trabalho tem como produto final um sistema de apoio a tomada de decisão em grupo interativa e com interfaces visuais para um problema de localização inspirado em operação real com a finalidade de utilização em treinamentos em logística humanitária. O código final possui mais de 6000 linhas de código em diferentes linguagens (*JavaScript, PHP, Python, CSS, HTML*). Desta forma, considera-se que o objetivo proposto na Introdução, de desenvolver “*uma ferramenta baseada em otimização para suporte a decisão em grupo, interativa e com interfaces visuais para um problema de localização inspirado em operação real para posterior utilização em treinamentos em logística humanitária*”, foi atingido.

7.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

O projeto possui código aberto e seu código está disponibilizado no GitHub do autor e pode ser acessado através do link <https://github.com/filipeaacio/Sistema-de-Suporte-a-Decisao>. Sendo assim o SSD fruto deste trabalho poderá ser utilizado por diferentes atores assim como poderá ser modificado e adaptado para atender diferentes cenários e diferentes objetivos de aprendizado em treinamentos. As sugestões de pesquisas apresentadas a seguir advêm das limitações de tempo e escopo deste trabalho e também visam explorar o potencial da ferramenta.

- Realizar estudos para avaliação do Sistema de Apoio a Decisão aplicando o estudo de caso em diferentes grupos e com diferentes metodologias.
- Modificar o estudo de caso deste trabalho ou criar novos casos para aplicações distintas. Sendo de código aberto o Sistema de Suporte a Decisão pode facilmente ser alterado para uso com diferentes conjuntos de dados ou diferentes problemas, tais como:
 - Regiões com grandes possibilidades de interrupção da infraestrutura causadas por fenômenos naturais tais como terremotos, deslizamentos, enchentes entre outros;
 - Áreas de estudo do problema maiores ou menores;
 - Diferentes tamanhos de armazéns;
 - Alteração dos custos de transporte e dos custos fixos do armazém;
 - Diferentes agências e configurações de cooperação.
- Modificar o modelo matemático gerando novas possibilidades, como por exemplo:
 - Propondo novos objetivos ou reconfigurando a árvore de objetivos proposta;
 - Remover ou incluir novas restrições, tais como limites de atendimento por distância, número máximo de armazéns, limites mínimos de níveis de serviço;

- Inclusão de variáveis estocásticas para determinação dos pontos de gargalos.
- Alterar o código fonte do programa para implementar melhorias e modificações, como por exemplo:
 - Limitações dos tempos de processamento dos modelos a fim de impedir tempos demasiadamente longos;
 - Permitir o ajuste das funções de valor pelo usuário;
 - Criar um painel de configuração para o instrutor definir alguns parâmetros antes de cada treinamento.

REFERÊNCIAS

- Abounacer, R., Rekik, M., e Renaud, J. (2014) An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response. *Computers and Operations Research*, 41(1), 83–93. doi:10.1016/j.cor.2013.08.001
- Adedeji Ademigbuji. (2018) Kachalla: Setting up Mobile Storage Units is part of fighting hunger. Obtido 3 de agosto de 2018, de <https://insight.wfp.org/kachalla-setting-up-mobile-storage-units-is-part-of-fighting-hunger-56edb0eb00b5>
- Altay, N., e Green, W. G. (2006) OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475–493. doi:10.1016/j.ejor.2005.05.016
- Alto Comissariado das Nações Unidas para os Refugiados. (2018) UNHCR - Figures at a Glance. Obtido 20 de setembro de 2018, de <http://www.unhcr.org/en-ie/figures-at-a-glance.html>
- Balcik, B., Beamon, B. M., Krejci, C. C., Muramatsu, K. M., e Ramirez, M. (2010) Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 22–34. doi:10.1016/j.ijpe.2009.09.008
- Ballou, R. (2007) *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial [recurso eletrônico]*. (5º ed). Bookman, Porto Alegre.
- BBC. (2017) How the battle for Mosul unfolded - BBC News. <https://www.bbc.com/>. Obtido de <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-37702442>
- Belton, V., e Stewart, T. (2001) Multiple criteria decision analysis: an integrated approach., 372.
- Boehm, B. W. (1988) A spiral model of software development and enhancement. *Computer*, 21(5), 61–72. doi:10.1109/2.59
- Boonmee, C., Arimura, M., e Asada, T. (2017) Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24(February), 485–498. doi:10.1016/j.ijdrr.2017.01.017
- Catholic Relief Services. (2018) Mobile Storage Units. Obtido 16 de agosto de 2018, de <https://efom.crs.org/efom/logistics-introduction/warehouse-selection-set-up/find-potential-sites/mobile-storage-units/>
- Cavalcanti, L. B. (2015) *Coordenação da entrega de ajuda a vítimas de desastre: uma abordagem multicritério com pensamento focado em valor*. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2018) Emergency Events Database. Obtido 21 de setembro de 2018, de <https://www.emdat.be/>
- CNW. (2016) UN Provides Vital Food and Aid to 42,000 People in Eastern Mosul. Obtido

14 de agosto de 2018, de <https://www.newswire.ca/news-releases/un-provides-vital-food-and-aid-to-42000-people-in-eastern-mosul-605669146.html>

Corbett, C. J., e Van Wassenhove, L. N. (1993) The Natural Drift: What Happened to Operations Research? *Operations Research*, 41(4), 625–640. doi:10.1287/opre.41.4.625

Creswell, J. W. (2007) *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Method Approaches*. SAGE Publications. doi:10.4135/9781849208956

Daskin, M. S. (1995) *Network and Discrete Location. Book*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi:10.1002/9781118032343

Dubey, R., e Gunasekaran, A. (2016) The sustainable humanitarian supply chain design: agility, adaptability and alignment. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(1), 62–82. doi:10.1080/13675567.2015.1015511

Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários. (2001) *Guiding Principles on Internal Displacement*. United Nations Publication, Nova York.

Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários. (2016) *Mosul Flash Appeal*.

Farahani, R. Z., SteadieSeifi, M., e Asgari, N. (2010) Multiple criteria facility location problems: A survey. *Applied Mathematical Modelling*, 34(7), 1689–1709. doi:10.1016/j.apm.2009.10.005

Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho. (2011) *Introduction to the Guidelines for the Domestic Facilitation and Regulation of International Disaster Relief and Initial Recovery Assistance*. IFRC, Geneva.

Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho. (2018) *International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies*. Obtido 23 de setembro de 2018, de <https://media.ifrc.org/ifrc/>

FEMA. (2018) FEMA - Emergency Management Institute. Obtido 23 de setembro de 2018, de <https://training.fema.gov/emi.aspx>

Fontainha, T. C., Leiras, A., e Bandeira, R. A. de M. (2015) S3P Stakeholder relationship model. *26th Annual POMS Conference - Production and Operations Management Society*, 1–10.

Franco, L. A., e Montibeller, G. (2010) Facilitated modelling in operational research. *European Journal of Operational Research*. doi:10.1016/j.ejor.2009.09.030

Fundação Vanzolini. (2000) *Planejamento de Rede Logística no Nordeste*. São Paulo.

GOOGLE. (2018) Maps JavaScript API. Obtido de <https://cloud.google.com/maps-platform/>

Gralla, E. L. (2012) *Human and Modeling Approaches for Humanitarian Transportation Planning*. Massachusetts Institute of Technology. Obtido de <http://hdl.handle.net/1721.1/78482>

- Green, W. G. (2000) A Development Model for a Statewide Medical Disaster. *A Paper Presented At The 2000 National Disaster Medical System Conference*, (May), 1–14.
- International Organization for Migration. (2020) Displacement Tracking Matrix | DTM. Obtido 5 de fevereiro de 2020, de <https://dtm.iom.int/>
- International Organization for Migration - Iraq Mission. (2018) DISPLACEMENT TRACKING MATRIX - DTM ROUND 90., (February), 1–9.
- Keenan, P. B., e Jankowski, P. (2019) Spatial Decision Support Systems: Three decades on. *Decision Support Systems*. doi:10.1016/j.dss.2018.10.010
- Keeney, R. L., e Raiffa, H. (1993) Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs. *Cambridge University Press*. Cambridge UK.
- Lima, F. S., Medeiros, H. C., e Gonçalves, M. B. (2011) Clusters na Cadeia de Fornecimento Humanitária: O Centro Conjunto de Logística das Nações Unidas – UNJLC. XXV ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Belo Horizonte.
- Logistics Cluster. (2015a) Warehousing and Inventory Management. Obtido 15 de agosto de 2018, de <https://dlca.logcluster.org/display/LOG/Warehousing+and+Inventory+Management>
- Logistics Cluster. (2015b) Warehousing and Inventory Management.
- Logistics Cluster. (2018) Iraq - Logistics Capacity Assessment - Digital Logistics Capacity Assessments. Obtido 10 de setembro de 2018, de <https://dlca.logcluster.org/display/public/DLCA/Iraq>
- Maharjan, R., e Hanaoka, S. (2017) Warehouse location determination for humanitarian relief distribution in Nepal. *Transportation Research Procedia*, 25, 1151–1163. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.128
- Marengo, J., Valverde, M., e Obregon, G. (2013) Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. *Climate Research*, 57(1), 61–72. doi:10.3354/cr01160
- Mongeon, P., e Paul-Hus, A. (2016) The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213–228. doi:10.1007/s11192-015-1765-5
- Montibeller, G., e Franco, A. (2007) Decision and Risk Analysis for the Evaluation of Strategic Options. *Supporting Strategy: Frameworks, Methods and Models* (p. 251–284).
- Munzner, T. (2014) *Visualization Analysis and Design*. *Visualization Analysis and Design*. doi:10.1201/b17511
- Peters, J. F., e Pedrycz, W. (2001) *Engenharia de software – teoria e prática*. Campus, Rio de Janeiro.
- Ransikarbum, K., e Mason, S. J. (2016) Multiple-objective analysis of integrated relief

- supply and network restoration in humanitarian logistics operations. *International Journal of Production Research*, 54(1), 49–68. doi:10.1080/00207543.2014.977458
- Ranyard, J. C., Fildes, R., e Hu, T.-I. (2015) Reassessing the scope of OR practice: The Influences of Problem Structuring Methods and the Analytics Movement. *European Journal of Operational Research*, 245(1), 1–13. doi:10.1016/j.ejor.2015.01.058
- Rouse, W. B., Pennock, M. J., Oghbaie, M., e Liu, C. (2017) Interactive visualizations for decision support: Application of Rasmussen's abstraction-aggregation hierarchy. *Applied Ergonomics*. doi:10.1016/j.apergo.2016.03.006
- Schulz, S. F. (2009) *Disaster Relief Logistics: Benefits of and Impediments to Horizontal Cooperation between Humanitarian Organizations*. Technische Universität Berlin, Fakultät VII - Wirtschaft und Management, Berlin. Obtido de <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-2086>
- Seref, M. M. H., Ahuja, R. A., e Winston, W. L. (2007) *Developing Spreadsheet-Based Decision Support Systems*. (Dynamic Ideas, Ed) (1º ed). Belmont.
- Sheffi, Y., e Winkenbach, M. (2016) *VISUAL ANALYTICS & MIXED REALITY UI / UX IN SUPPLY CHAIN & LOGISTICS*. Boston.
- The Sphere Project. (2011) *Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response. Prehospital and disaster medicine* (Third edit.). The Sphere Project, Rugby, Warwickshire, United Kingdom. doi:10.3362/9781908176202
- Thomas, A. S., e Kopczak, L. R. (2005) From logistics to supply chain management: the path forward in the humanitarian sector. *Fritz Institute*, 1–15. Obtido de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:From+Logistics+to+Supply+Chain+Management:+the+path+forward+in+the+humanitarian+sector#0>
- Tomasini, R. M., e Van Wassenhove, L. N. (2009) From preparedness to partnerships: case study research on humanitarian logistics. *International Transactions in Operational Research*, 16(5), 549–559. doi:10.1111/j.1475-3995.2009.00697.x
- Turban, E., Sharda, R. E., e Delen, D. (2010) *Decision Support and Business Intelligence Systems*. (Prentice Hall, Ed) (9º ed).
- UNITED NATIONS. Inter-Agency Standing Committee. (2006) GUIDANCE NOTE ON USING THE CLUSTER APPROACH TO STRENGTHEN HUMANITARIAN RESPONSE. *Health (San Francisco)*, (November), 1–15. Obtido de [https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/IASC Guidance Note on using the Cluster Approach to Strengthen Humanitarian Response %28November 2006%29.pdf](https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/IASC%20Guidance%20Note%20on%20using%20the%20Cluster%20Approach%20to%20Strengthen%20Humanitarian%20Response%20November%202006.pdf)
- United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. (2019) ReliefWeb - Informing humanitarians worldwide. Obtido 2 de novembro de 2019, de <https://reliefweb.int/>
- United Nations Operational Satellite Applications Programme, IMPACT Initiatives, e ACTED. (2019) REACH | Informing more effective humanitarian action. Obtido 18 de julho de 2020, de <https://www.reach-initiative.org/>

- Ursacki-Bryant, T. J., Smart, C., e Vertinsky, I. (2008) *The Fit Between Crisis Types and Management Attributes as a Determinant of Crisis Consequences*. (G. P. Hodgkinson & W. H. Starbuck, Eds). Oxford University Press. doi:10.1093/oxfordhb/9780199290468.003.0009
- Van Wassenhove, L. N. (2006) Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475–489. doi:10.1057/palgrave.jors.2602125
- Ware, C. (2012) *Information Visualization: Perception for Design (Interactive Technologies)*. (3º ed). Waltham MA: Elsevier.
- Winston, W. L. (2004) *Operations Research, Applications and Algorithms*. doi:10.15358/9783800650729
- World Population Review. (2018) Population of Cities in Iraq (2018). Obtido 16 de agosto de 2018, de <http://worldpopulationreview.com/countries/iraq-population/cities/>
- Yoshizaki, H. T. Y. (2002, novembro 13) *Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do imposto de circulação de mercadorias e serviços*. Universidade de São Paulo, São Paulo. Obtido de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-06102017-115751/>
- Yoshizaki, H. T. Y., e Montibeller, G. (2009) A Framework for Locating Logistic Facilities with Optimisation and Multi-Criteria Value Analysis., 1–39.

ANEXO 1: ARTIGOS ESTUDADOS NA REVISÃO DA LITERATURA

- Abounacer, R., Rekik, M., e Renaud, J. (2014) An exact solution approach for multi-objective location–transportation problem for disaster response. *Computers & Operations Research*, 41, 83–93. doi:10.1016/j.cor.2013.08.001
- Adivar, B., Atan, T., Sevil Oflaç, B., e Örten, T. (2010) Improving social welfare chain using optimal planning model. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(4), 290–305. doi:10.1108/13598541011054661
- Afshar, A., e Haghani, A. (2012) Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(4), 327–338. doi:10.1016/j.seps.2011.12.003
- Ahmadi, M., Seifi, A., e Tootooni, B. (2015) A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 145–163. doi:10.1016/j.tre.2015.01.008
- Ai, T. J., e Wigati, S. S. (2017) Model for determining logistic distribution center: case study of Mount Merapi eruption disaster. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 166, 012033. doi:10.1088/1757-899X/166/1/012033
- Akgün, İ., Gümüşbuğa, F., e Tansel, B. (2015) Risk based facility location by using fault tree analysis in disaster management. *Omega*, 52, 168–179. doi:10.1016/j.omega.2014.04.003
- Álvarez-Miranda, E., Fernández, E., e Ljubić, I. (2015) The recoverable robust facility location problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 79, 93–120. doi:10.1016/j.trb.2015.06.001
- Ashtiani, L. H., Seifbarghy, M., e Bashiri, M. (2013) Reliable cooperative and backup covering in disaster situations. 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (p. 591–594). IEEE. doi:10.1109/IEEM.2013.6962480
- Bai, X. (2016) Two-Stage Multiobjective Optimization for Emergency Supplies Allocation Problem under Integrated Uncertainty. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1–13. doi:10.1155/2016/2823835
- Balcik, B., e Beamon, B. M. (2008) Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 11(2), 101–121. doi:10.1080/13675560701561789
- Barzinpour, F., Saffarian, M., Makoui, A., e Teimoury, E. (2014) Metaheuristic Algorithm for Solving Biobjective Possibility Planning Model of Location-Allocation in Disaster Relief Logistics. *Journal of Applied Mathematics*, 2014, 1–17. doi:10.1155/2014/239868

- Baskaya, S., Ertem, M. A., e Duran, S. (2017) Pre-positioning of relief items in humanitarian logistics considering lateral transshipment opportunities. *Socio-Economic Planning Sciences*, 57, 50–60. doi:10.1016/j.seps.2016.09.001
- Bozorgi-Amiri, A., e Khorsi, M. (2016) A dynamic multi-objective location–routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5–8), 1633–1648. doi:10.1007/s00170-015-7923-3
- Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., e Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J. (2013) A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR Spectrum*, 35(4), 905–933. doi:10.1007/s00291-011-0268-x
- Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., Alinaghian, M., e Heydari, M. (2012) A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60(1–4), 357–371. doi:10.1007/s00170-011-3596-8
- Burkart, C., Nolz, P. C., e Gutjahr, W. J. (2017) Modelling beneficiaries' choice in disaster relief logistics. *Annals of Operations Research*, 256(1), 41–61. doi:10.1007/s10479-015-2097-9
- Buzon-Cantera, I. E., Mora-Vargas, J., Ruiz, A., e Soriano, P. (2015) A hybrid optimization model: an approach for the humanitarian aid distribution problem. *Applied Mathematical Sciences*, 9, 6329–6346. doi:10.12988/ams.2015.58530
- Campbell, A. M., e Jones, P. C. (2011) Prepositioning supplies in preparation for disasters. *European Journal of Operational Research*, 209(2), 156–165. doi:10.1016/j.ejor.2010.08.029
- Celebi, N. ([s.d.]) Using an Agent-Based Behavior Modeling for Finding Humanitarian Relief Center Location in an Earthquake Zone. *Crisis Management* (p. 876–891). IGI Global. doi:10.4018/978-1-4666-4707-7.ch043
- Celik, E. (2017) A cause and effect relationship model for location of temporary shelters in disaster operations management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, 257–268. doi:10.1016/j.ijdr.2017.02.020
- Celik, E. (2017) A cause and effect relationship model for location of temporary shelters in disaster operations management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, 257–268. doi:10.1016/j.ijdr.2017.02.020
- Chapman, A. G., e Mitchell, J. E. (2018) A fair division approach to humanitarian logistics inspired by conditional value-at-risk. *Annals of Operations Research*, 262(1), 133–151. doi:10.1007/s10479-016-2322-1
- Charles, A., Lauras, M., Van Wassenhove, L. N., e Dupont, L. (2016) Designing an efficient humanitarian supply network. *Journal of Operations Management*, 47–48(1), 58–70. doi:10.1016/j.jom.2016.05.012
- Davis, L. B., Samanlioglu, F., Qu, X., e Root, S. (2013) Inventory planning and coordination in disaster relief efforts. *International Journal of Production Economics*,

141(2), 561–573. doi:10.1016/j.ijpe.2012.09.012

Drezner, Z., Marianov, V., e Wesolowsky, G. O. (2016) Maximizing the minimum cover probability by emergency facilities. *Annals of Operations Research*, 246(1–2), 349–362. doi:10.1007/s10479-014-1726-z

Dufour, É., Laporte, G., Paquette, J., e Rancourt, M. (2018) Logistics service network design for humanitarian response in East Africa. *Omega*, 74, 1–14. doi:10.1016/j.omega.2017.01.002

Farahani, R. Z., Hassani, A., Mousavi, S. M., e Baygi, M. B. (2014) A hybrid artificial bee colony for disruption in a hierarchical maximal covering location problem. *Computers & Industrial Engineering*, 75, 129–141. doi:10.1016/j.cie.2014.06.012

Galindo, G., e Batta, R. (2013) Prepositioning of supplies in preparation for a hurricane under potential destruction of prepositioned supplies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 47(1), 20–37. doi:10.1016/j.seps.2012.11.002

Golabi, M., Shavarani, S. M., e Izbirak, G. (2017) An edge-based stochastic facility location problem in UAV-supported humanitarian relief logistics: a case study of Tehran earthquake. *Natural Hazards*, 87(3), 1545–1565. doi:10.1007/s11069-017-2832-4

Guo, Q., Zhu, J., Chen, T., e Huang, J. (2014) Study Two-Stages Relief Supplies Distribution Problem Based on Characteristics of Disaster Situation Information. 2014 Seventh International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization (p. 126–130). IEEE. doi:10.1109/CSO.2014.32

Guo, Z., Yan, W., e Qi, M. (2013) A New Optimization Approach for Emergency Facilities Locations Based on Fuzzy Information. *Information Technology Journal*, 12(15), 3467–3471. doi:10.3923/itj.2013.3467.3471

Gutjahr, W. J., e Dzurbur, N. (2016) Bi-objective bilevel optimization of distribution center locations considering user equilibria. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 85, 1–22. doi:10.1016/j.tre.2015.11.001

Haghi, M., Fatemi Ghomi, S. M. T., e Jolai, F. (2017) Developing a robust multi-objective model for pre/post disaster times under uncertainty in demand and resource. *Journal of Cleaner Production*, 154, 188–202. doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.102

Hale, T., e Moberg, C. R. (2005) Improving supply chain disaster preparedness. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(3), 195–207. doi:10.1108/09600030510594576

He, S., e Zhang, L. (2016) Location-routing model for post-disaster initial stage relief supplies based on priority level. *Chemical Engineering Transactions*, 51, 973–978. doi:10.3303/CET1651163

Hong, J.-D., Jeong, K.-Y., e Feng, K. (2015) Emergency relief supply chain design and trade-off analysis. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(2), 162–187. doi:10.1108/JHLSCM-05-2014-0019

- Hong, J.-D., Xie, Y., e Jeong, K.-Y. (2012) Development and evaluation of an integrated emergency response facility location model. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(1). doi:10.3926/jiem.415
- Hong, X., Lejeune, M. A., e Noyan, N. (2015) Stochastic network design for disaster preparedness. *IIE Transactions*, 47(4), 329–357. doi:10.1080/0740817X.2014.919044
- Hu, S.-L., Han, C.-F., e Meng, L.-P. (2016) Stochastic optimization for investment in facilities in emergency prevention. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, 14–31. doi:10.1016/j.tre.2016.02.006
- Hua-li, S., Xun-qing, W., e Yao-feng, X. (2012) A Bi-level Programming Model for a Multi-facility Location-Routing Problem in Urban Emergency System. (p. 75–80). doi:10.1007/978-3-642-24823-8_12
- Irohara, T., Kuo, Y.-H., e Leung, J. M. Y. (2013) From Preparedness to Recovery: A Tri-Level Programming Model for Disaster Relief Planning. (p. 213–228). doi:10.1007/978-3-642-41019-2_16
- Jahre, M., Kembro, J., Rezvanian, T., Ergun, O., Håpnes, S. J., e Berling, P. (2016) Integrating supply chains for emergencies and ongoing operations in UNHCR. *Journal of Operations Management*, 45(1), 57–72. doi:10.1016/j.jom.2016.05.009
- Jia, H., Ordóñez, F., e Dessouky, M. M. (2007) Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Computers & Industrial Engineering*, 52(2), 257–276. doi:10.1016/j.cie.2006.12.007
- Jianming Zhu, De-Gang Liu, e Jun Huang. (2013) Robust P-Median Model for Facility Location Problem Based on Scenario Analysis in Emergency Management. 11th International Symposium on Operations Research and its Applications in Engineering, Technology and Management 2013 (ISORA 2013) (p. 20–23). Institution of Engineering and Technology. doi:10.1049/cp.2013.2251
- Jiaxin Wang, e Xiaoxia Zhu. (2015) Research on emergency logistics center location decision approach based on synthetic information entropy. 2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS) (p. 1–6). IEEE. doi:10.1109/LISS.2015.7369790
- Karatas, M., Razi, N., e Tozan, H. (2016) A Comparison of p-median and Maximal Coverage Location Models with Q-coverage Requirement. *Procedia Engineering*, 149, 169–176. doi:10.1016/j.proeng.2016.06.652
- Khalili, S. M., Babagolzadeh, M., Yazdani, M., Saberi, M., e Chang, E. (2016) A Bi-objective Model for Relief Supply Location in Post-Disaster Management. 2016 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS) (p. 428–434). IEEE. doi:10.1109/INCoS.2016.59
- Khayal, D., Pradhananga, R., Pokharel, S., e Mutlu, F. (2015) A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response. *Socio-Economic Planning Sciences*, 52, 22–30. doi:10.1016/j.seps.2015.09.002

- Lang, T. E., e McGarvey, R. G. (2016) Determining Reliable Networks of Prepositioning Materiel Warehouses for Public-Sector Rapid Response Supplies. *Advances in Operations Research*, 2016, 1–20. doi:10.1155/2016/1285406
- Lee, W.-S., Kim, B. S., e Opit, P. F. (2014) A Stock Pre-positioning Model to Maximize the Total Expected Relief Demand of Disaster Areas. *Industrial Engineering and Management Systems*, 13(3), 297–303. doi:10.7232/iems.2014.13.3.297
- Li, B., Hernandez, I., Milburn, A. B., e Ramirez-Marquez, J. E. (2018) Integrating uncertain user-generated demand data when locating facilities for disaster response commodity distribution. *Socio-Economic Planning Sciences*, 62, 84–103. doi:10.1016/j.seps.2017.09.003
- Lin, Y.-H., Batta, R., Rogerson, P. A., Blatt, A., e Flanigan, M. (2012) Location of temporary depots to facilitate relief operations after an earthquake. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(2), 112–123. doi:10.1016/j.seps.2012.01.001
- Lu, C.-C. (2013) Robust weighted vertex p-center model considering uncertain data: An application to emergency management. *European Journal of Operational Research*, 230(1), 113–121. doi:10.1016/j.ejor.2013.03.028
- Lu, C.-C., e Sheu, J.-B. (2013) Robust vertex p-center model for locating urgent relief distribution centers. *Computers & Operations Research*, 40(8), 2128–2137. doi:10.1016/j.cor.2013.02.019
- Maharjan, R., e Hanaoka, S. (2017) Warehouse location determination for humanitarian relief distribution in Nepal. *Transportation Research Procedia*, 25, 1151–1163. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.128
- Marcelin, J. M., Horner, M. W., Ozguven, E. E., e Kocatepe, A. (2016) How does accessibility to post-disaster relief compare between the aging and the general population? A spatial network optimization analysis of hurricane relief facility locations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 15, 61–72. doi:10.1016/j.ijdrr.2015.12.006
- Menth, M., e Stamm, J. L. H. (2015) An agent-based modeling approach to improve coordination between humanitarian relief providers. 2015 Winter Simulation Conference (WSC) (p. 3116–3117). IEEE. doi:10.1109/WSC.2015.7408427
- Mete, H. O., e Zabinsky, Z. B. (2010) Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 76–84. doi:10.1016/j.ijpe.2009.10.004
- Mohamadi, A., e Yaghoubi, S. (2017) A bi-objective stochastic model for emergency medical services network design with backup services for disasters under disruptions: An earthquake case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 23, 204–217. doi:10.1016/j.ijdrr.2017.05.003
- Mohamadi, A., Yaghoubi, S., e Pishvaei, M. S. (2019) Fuzzy multi-objective stochastic programming model for disaster relief logistics considering telecommunication infrastructures: a case study. *Operational Research*, 19(1), 59–99.

doi:10.1007/s12351-016-0285-2

- Mohammadi, R., Ghomi, S. M. T. F., e Jolai, F. (2016) Prepositioning emergency earthquake response supplies: A new multi-objective particle swarm optimization algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 40(9–10), 5183–5199. doi:10.1016/j.apm.2015.10.022
- Moreno, A., Alem, D., e Ferreira, D. (2016) Heuristic approaches for the multiperiod location-transportation problem with reuse of vehicles in emergency logistics. *Computers & Operations Research*, 69, 79–96. doi:10.1016/j.cor.2015.12.002
- Muggy, L., e Heier Stamm, J. L. (2017) Dynamic, robust models to quantify the impact of decentralization in post-disaster health care facility location decisions. *Operations Research for Health Care*, 12, 43–59. doi:10.1016/j.orhc.2017.01.002
- Naji-Azimi, Z., Renaud, J., Ruiz, A., e Salari, M. (2012) A covering tour approach to the location of satellite distribution centers to supply humanitarian aid. *European Journal of Operational Research*, 222(3), 596–605. doi:10.1016/j.ejor.2012.05.001
- Ni, W., Shu, J., e Song, M. (2018) Location and Emergency Inventory Pre-Positioning for Disaster Response Operations: Min-Max Robust Model and a Case Study of Yushu Earthquake. *Production and Operations Management*, 27(1), 160–183. doi:10.1111/poms.12789
- Noyan, N. (2012) Risk-averse two-stage stochastic programming with an application to disaster management. *Computers & Operations Research*, 39(3), 541–559. doi:10.1016/j.cor.2011.03.017
- Opit, P. F., e Nakade, K. (2015) Emergency response model of stock-prepositioning with transportation constraints. 2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (p. 239–243). IEEE. doi:10.1109/IEEM.2015.7385644
- Padasht, S., e Razmi, J. (2016) A location-routing model on relief distribution centers. *Uncertain Supply Chain Management*, 269–276. doi:10.5267/j.uscm.2016.5.001
- Paul, J. A., e MacDonald, L. (2016) Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters. *European Journal of Operational Research*, 251(1), 252–263. doi:10.1016/j.ejor.2015.10.028
- Paul, J. A., e MacDonald, L. (2016) Optimal location, capacity and timing of stockpiles for improved hurricane preparedness. *International Journal of Production Economics*, 174, 11–28. doi:10.1016/j.ijpe.2016.01.006
- Rancourt, M.-È., Cordeau, J.-F., Laporte, G., e Watkins, B. (2015) Tactical network planning for food aid distribution in Kenya. *Computers & Operations Research*, 56, 68–83. doi:10.1016/j.cor.2014.10.018
- Rawls, C. G., e Turnquist, M. A. (2010) Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(4), 521–534. doi:10.1016/j.trb.2009.08.003

- Rawls, C. G., e Turnquist, M. A. (2011) Pre-positioning planning for emergency response with service quality constraints. *OR Spectrum*, 33(3), 481–498. doi:10.1007/s00291-011-0248-1
- Rawls, C. G., e Turnquist, M. A. (2012) Pre-positioning and dynamic delivery planning for short-term response following a natural disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 46–54. doi:10.1016/j.seps.2011.10.002
- Rennemo, S. J., Rø, K. F., Hvattum, L. M., e Tirado, G. (2014) A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 62, 116–135. doi:10.1016/j.tre.2013.12.006
- Rodríguez-Espíndola, O., e Gaytán, J. (2015) Scenario-based preparedness plan for floods. *Natural Hazards*, 76(2), 1241–1262. doi:10.1007/s11069-014-1544-2
- Roh, S., Jang, H., e Han, C. (2013) Warehouse Location Decision Factors in Humanitarian Relief Logistics. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 29(1), 103–120. doi:10.1016/j.ajsl.2013.05.006
- Sahebjamnia, N., Torabi, S. A., e Mansouri, S. A. (2017) A hybrid decision support system for managing humanitarian relief chains. *Decision Support Systems*, 95, 12–26. doi:10.1016/j.dss.2016.11.006
- Şahin, A., Alp Ertem, M., e Emür, E. (2014) Using containers as storage facilities in humanitarian logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 4(2), 286–307. doi:10.1108/JHLSCM-08-2013-0029
- Sheu, J.-B., e Pan, C. (2014) A method for designing centralized emergency supply network to respond to large-scale natural disasters. *Transportation Research Part B: Methodological*, 67, 284–305. doi:10.1016/j.trb.2014.05.011
- Singhtaun, C. (2017) A COMPARISON OF PARALLEL BRANCH AND BOUND ALGORITHMS FOR LOCATION-TRANSPORTATION PROBLEMS IN HUMANITARIAN RELIEF. *International Journal of GEOMATE*. doi:10.21660/2017.33.2563
- Singhtaun, C., e Natsupakpong, S. (2015) Applications of Parallel Computing for Facility Location-Transportation Problems for Disaster Response. *Journal of Computer Science*, 11(4), 612–620. doi:10.3844/jcssp.2015.612.620
- Tian, W. D., Jiang, H. Q., Zhou, H. J., Guo, D., Li, W. B., e Lu, Y. (2012) A Decision-Making Model for Distribution Center Location during Earthquake Responses. *Advanced Materials Research*, 629, 808–814. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.629.808
- Tofighi, S., Torabi, S. A., e Mansouri, S. A. (2016) Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 239–250. doi:10.1016/j.ejor.2015.08.059
- Tricoire, F., Graf, A., e Gutjahr, W. J. (2012) The bi-objective stochastic covering tour problem. *Computers & Operations Research*, 39(7), 1582–1592. doi:10.1016/j.cor.2011.09.009

- Ukkusuri, S. V., e Yushimito, W. F. (2008) Location Routing Approach for the Humanitarian Prepositioning Problem. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2089(1), 18–25. doi:10.3141/2089-03
- Vahdani, B., Veysmoradi, D., Shekari, N., e Mousavi, S. M. (2018) Multi-objective, multi-period location-routing model to distribute relief after earthquake by considering emergency roadway repair. *Neural Computing and Applications*, 30(3), 835–854. doi:10.1007/s00521-016-2696-7
- Vanajakumari, M., Kumar, S., e Gupta, S. (2016) An Integrated Logistic Model for Predictable Disasters. *Production and Operations Management*, 25(5), 791–811. doi:10.1111/poms.12533
- Vargas Florez, J., Lauras, M., Okongwu, U., e Dupont, L. (2015) A decision support system for robust humanitarian facility location. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 46, 326–335. doi:10.1016/j.engappai.2015.06.020
- Verma, A., e Gaukler, G. M. (2015) Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: An evaluation of deterministic and stochastic modeling approaches. *Computers & Operations Research*, 62, 197–209. doi:10.1016/j.cor.2014.10.006
- Xu, J., Yin, X., Chen, D., An, J., e Nie, G. (2016) Multi-criteria location model of earthquake evacuation shelters to aid in urban planning. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 20, 51–62. doi:10.1016/j.ijdr.2016.10.009
- Xu, J., Wang, Z., Zhang, M., e Tu, Y. (2016) A new model for a 72-h post-earthquake emergency logistics location-routing problem under a random fuzzy environment. *Transportation Letters*, 8(5), 270–285. doi:10.1080/19427867.2015.1126064
- Yang, S. (2015) A Hybrid Intelligent Algorithm for Emergency Facility Location Problem. *Journal of Information and Computational Science*, 12(1), 381–391. doi:10.12733/jics20105145
- Yi, W., e Özdamar, L. (2007) A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1177–1193. doi:10.1016/j.ejor.2005.03.077
- Yilmaz, H., e Kabak, Ö. (2016) A Multiple Objective Mathematical Program to Determine Locations of Disaster Response Distribution Centers. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 520–525. doi:10.1016/j.ifacol.2016.07.682
- Yushimito, W. F., Jaller, M., e Ukkusuri, S. (2012) A Voronoi-Based Heuristic Algorithm for Locating Distribution Centers in Disasters. *Networks and Spatial Economics*, 12(1), 21–39. doi:10.1007/s11067-010-9140-9
- Zhang, J., Dong, M., e Frank Chen, F. (2013) A bottleneck Steiner tree based multi-objective location model and intelligent optimization of emergency logistics systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(3), 48–55. doi:10.1016/j.rcim.2012.04.012
- Zhang, M., Huang, J., e Zhu, J. (2012) Reliable facility location problem considering facility failure scenarios. *Kybernetes*, 41(10), 1440–1461. doi:10.1108/03684921211276666

- Zheng, Y.-J., Wang, Y., Ling, H.-F., Xue, Y., e Chen, S.-Y. (2017) Integrated civilian–military pre-positioning of emergency supplies: A multiobjective optimization approach. *Applied Soft Computing*, 58, 732–741. doi:10.1016/j.asoc.2017.05.016
- Zhu, G., e Yu, H. (2013) A two-stage multi-criterion stochastic programming model for medical supply location in biochemical attacks. 2013 Ninth International Conference on Natural Computation (ICNC) (p. 708–712). IEEE. doi:10.1109/ICNC.2013.6818067
- Zokaee, S., Bozorgi-Amiri, A., e Sadjadi, S. J. (2016) A robust optimization model for humanitarian relief chain design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 40(17–18), 7996–8016. doi:10.1016/j.apm.2016.04.005

ANEXO 2 – ESTUDO DE CASO (INICIAL)

Vocês são gerentes de agências humanitárias que atuam no gerenciamento de campos de pessoas internamente deslocadas no Iraque. Vocês foram informados que uma grande operação militar será realizada para a retomada da cidade de Mossul, hoje dominada pelo Estado Islâmico. O *Logistic Cluster* convocou uma reunião para estabelecer um plano de ação e planejar a rede logística que abastecerá os campos após a demanda gerada pela operação.

A comunidade humanitária estima que o número de pessoas que necessitarão de abrigo, por não terem familiares ou outros meios de acomodação, será por volta de 700 mil.

Após algumas reuniões foi determinado que a rede estabelecida deverá atender a três objetivos distintos:

Minimizar os custos: Conforme relatório apresentado, os custos devem ser considerados, pois o orçamento solicitado pode não ser totalmente obtido e deve-se buscar um projeto que utilize os recursos de forma eficiente e que maximize a assistência.

Minimizar o tempo de entrega máximo: Os armazéns devem servir ao máximo ao favorecimento das operações. Uma entrega rápida é necessária para dar conforto e evitar maiores danos às vítimas.

Minimizar o risco médio de atraso: Enquanto os armazéns podem criar grandes sinergias de custo, devem minimizar o uso de rotas com alto grau de impedimento de acesso – notavelmente os problemas de acesso de cargas por rotas com alta frequência de bloqueios militares, que atrasam e até impedem o acesso a populações com necessidade. Sendo assim deve se buscar rotas com poucos pontos de gargalo.

Para a seleção dos tipos de armazém foram estabelecidas duas opções. Armazéns de alvenaria, “*Hard Cover*” (Tabela 14), e as unidades de armazenagem móveis (MSU, na

sigla em inglês), de lona, “*Soft Cover*” (Tabela 15). Cada tipo possui opções de diferentes capacidades.

Tabela 14 - Opções de armazéns de alvenaria

#	Área (m²)	Capacidade (t/mês)	Custo fixo mensal (USD)	Custo de abertura (USD)
1	500	1283	31 580	6000
2	1000	2567	33 950	6000
3	2000	5133	49805	6000

Fonte: Adaptado de Costa⁴ (Informação pessoal)

Tabela 15 - Opções de configurações de MSU

#	Nº de MSU	Capacidade (t/mês)	Custo fixo mensal (USD)	Custo de abertura (USD)
4	1	410	26 775	13174
5	3	1230	28 375	20611
6	6	2460	40 510	30307
7	9	3690	55 035	35674

Fonte: Adaptado de Costa⁴ (Informação pessoal)

A Figura 37 exibe os principais pontos do problema. Na imagem são mostrados os campos da três agências (azul, rosa e verde), as cidades candidatas (amarelo) e os checkpoints (vermelho). No fundo é exibido o mapa da região de Mossul.

A Tabela 16 apresenta uma lista com os campos, as agências responsáveis e as demandas.

O *Logistic Cluster* sugere que seja realizada uma operação em conjunto a fim de atingir os objetivos estabelecidos. Esse tipo de operação conjunta nunca foi realizado pela sua agência e suas vantagens e desvantagens devem ser levantadas.

Você deverá definir em conjunto com os demais atores:

⁴ COSTA, O. A. F. Operação Humanitária no Iraque. Interações presenciais e por e-mail no período entre agosto de 2017 e dezembro de 2019.

- O peso que pondera os custos totais e o nível de serviço.
- O peso que pondera entre o tempo de entrega e a quantidade de pontos de gargalo.
- Se um determinado local candidato necessariamente deve ter um armazém de determinada capacidade
- Se um determinado local candidato não poderá receber um armazém

Você também deverá definir se sua agência participará ou não de uma operação em conjunto com as demais agências.

Figura 37 - Mapa com os principais pontos do modelo.

Fonte: Autor

Tabela 16 - Campos de internamente deslocados utilizados no modelo

Nome do campo	Agência responsável	Ocupação máxima (Nº de famílias)
Al-Alam 1	Agência A	500
Zelikan	Agência A	266
Hasansham 3	Agência A	1936
Hammam al-Aliel	Agência A	4000
Hasansham 2	Agência A	1560
Tel Aswad (Chamakor)	Agência A	2400
Laylan C	Agência A	810
Debag 2	Agência A	1500
Al Sh'hamah	Agência B	415
Debag 1	Agência B	2397
Qayyarah Jad'ah	Agência B	15350
Hammam al-Aliel 2	Agência B	4672
Al-Alam/Rubeida	Agência B	750
Al Sh'hamah	Agência C	715
Hasansham	Agência C	7000
Qaymawa	Agência C	1030
Narziglia 1	Agência C	3158
Qayyarah Airstrip	Agência C	10000
Haj Ali	Agência C	7435
Hasansham 2	Agência C	1560
Hasansham M2	Agência C	5953
Laylan C	Agência C	949
Debag Stadium	Agência C	400
Al-Alam (all)	Agência C	1250
As Salamyiah 1&2	Agência C	6544

Fonte: Adaptado de DTM-IOM, *ReliefWeb* e REACH