

MARINA MITIE DE FARIA FUJIWARA

**Estudo de localização de centros de distribuição de suprimentos humanitários
durante a ofensiva para a retomada de Mossul em 2016**

São Paulo

2018

MARINA MITIE DE FARIA FUJIWARA

**Estudo de localização de centros de distribuição de suprimentos humanitários
durante a ofensiva para a retomada de Mossul em 2016**

**Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
a obtenção do diploma de Engenharia de
Produção**

**São Paulo
2018**

MARINA MITIE DE FARIA FUJIWARA

**Estudo de localização de centros de distribuição de suprimentos humanitários
durante a ofensiva para a retomada de Mossul em 2016**

**Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
a obtenção do diploma de Engenharia de
Produção**

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

**São Paulo
2018**

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.

Catálogo-na-publicação

Fujiwara, Marina

Estudo de localização de centros de distribuição de suprimentos humanitários durante a ofensiva para a retomada de Mossul em 2016 / M. Fujiwara -- São Paulo, 2018.

104 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Logística 2.Pesquisa operacional 3.Localização industrial I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

AGRADECIMENTOS

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e seu corpo docente pela participação na minha formação acadêmica assim como meu desenvolvimento profissional.

Ao professor Hugo T. Y. Yoshizaki pela orientação, apoio e ensinamentos durante a elaboração deste trabalho e ao Filipe Santos pela dedicação e envolvimento, especialmente na construção do modelo.

Aos demais membros do CISLOG pela disponibilidade e estímulo ao desenvolvimento dos meus estudos em logística humanitária, em especial ao Bruno Latorre pela contribuição no levantamento de dados e à Maria Clara Rodrigues pelo compartilhamento de experiências.

Ao especialista em logística humanitária Otávio Costa pelo fornecimento de grande parte das informações de base para a preparação do estudo, além da disponibilidade para questionamentos com prontidão.

Aos meus familiares e amigos por acreditarem em meu potencial, pelo amparo nos momentos difíceis e por me ensinarem a cada dia o significado de amor incondicional.

À Mia e Lexa pela companhia incansável e essencial ao longo dessa empreitada.

O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim:
esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e
depois desinquieta. O que ela quer da gente é
coragem.

(Guimarães Rosa)

RESUMO

Operações de respostas emergenciais humanitárias enfrentam diversos desafios logísticos em sua fase de planejamento, sendo um deles a escolha de localização de armazéns para distribuição dos suprimentos para pessoas em situação vulnerável. Este trabalho buscou estudar tal problema com enfoque no caso da ofensiva para a retomada da cidade de Mossul, Iraque, que teve início em outubro de 2016 e duração de dez meses. A partir de um modelo matemático de otimização, foi possível analisar de forma estática e determinística a solução sugerida para cada mês de ocupação, sob a perspectiva de redução de custos e manutenção de nível de serviço, contrastando a demanda da ocupação efetiva dos campos de pessoas internamente deslocadas e expectativas do planejamento geral. Além da análise do cenário ocorrido, foi feita a consideração de alternativas de centralização das instalações como forma de redução de custo, apresentando resultados positivos e indicando a oportunidade de aplicação para novos casos similares.

Palavras-chave: logística humanitária, localização de instalações, pesquisa operacional.

ABSTRACT

Humanitarian emergency response operations face multiple logistical challenges in the implementation stage, being the choice of warehouses for distribution of supplies for people in vulnerable situation one of them. This study focused on the case of Mossul's retake offensive, in Iraq, that took place in October, 2016 and lasted for ten months. With an optimization mathematical model, it was possible to analyze in a static and deterministic way the suggested solution for each month of the occupation, by the perspective of cost reduction and service level maintenance, opposing the demand by the actual occupation of the internally displaced people's camps and the expectations of the general planning. Besides the analysis of the scenario that occurred, there was a consideration of alternatives for facilities centralization as a way to reduce costs, which presented positive results and indicates the opportunity to apply in new similar cases.

Key Words: humanitarian logistics, facility locations, operations research.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Controle do Estado Islâmico em 18 out. 2016	12
Figura 2 - Evolução da ofensiva em nov. 2016 e jan. 2017	13
Figura 3 - Situação da cidade de Mossul em 24 abr. 2017	14
Figura 4 - Situação da cidade de Mossul em 29 mai. 2017	14
Figura 5 - Gráfico da quantidade de indivíduos deslocados em função da crise de Mossul	15
Figura 6 - Foto do campo Essian com diversos <i>plots</i>	16
Figura 7 - Compensação de custos em problemas de localização de armazéns	21
Figura 8 - Estrutura de cadeia de assistência humanitária	23
Figura 9 - Sistema de indicadores para localização de centros logísticos de emergência	30
Figura 10 - MSU em campo na Nigéria	32
Figura 11 - Mapa de pontos de gargalo	33
Figura 12 - Representação do fluxo de suprimentos do cenário MSU (cenário atual)	35
Figura 13 - <i>Clusters</i> de campos	36
Figura 14 - Representação do fluxo de suprimentos do cenário <i>cluster</i>	37
Figura 15 - Representação do fluxo de suprimentos do cenário <i>hard roof</i>	37
Figura 16 - Fatores para escolha de localização de armazéns	38
Figura 17 - Situação de campos ocupados em novembro de 2016	40
Figura 18 - Situação de campos ocupados em janeiro de 2017	41
Figura 19 - Situação de campos ocupados em março de 2017	41
Figura 20 - Situação de campos ocupados em julho de 2017	42
Figura 21 - Gráficos de número de <i>plots</i> mensais ao longo do tempo (regular e acumulado)	43
Figura 22 - Estrutura de armazenagem de MSU	52
Figura 23 - Módulo de porta-paletes, com visão frontal (à esq.) e superior (à dir.) ...	54
Figura 24 - Menu do programa	58
Figura 25 - Exemplo de resultado do programa	59
Figura 26 - Localização de instalações do cenário <i>cluster/hard roof</i> , para dados de planejamento em março de 2017	73
Figura 27 - Localização de instalações do cenário <i>cluster/hard roof</i> , para dados de planejamento em abril de 2017	74
Figura 28 - Gráfico de variação de custo em função dos pontos de gargalo máximos para o cenário MSU, <i>plots</i> ocupados	82
Figura 29 - Gráfico de variação de custo em função dos pontos de gargalo máximos para o cenário MSU, <i>plots</i> planejados	83
Figura 30 - Gráfico de variação de custo em função do tempo médio limite para o cenário MSU, <i>plots</i> ocupados	84
Figura 31 - Gráfico de variação de custo em função do fator de segurança para o cenário MSU, <i>plots</i> planejados	85
Figura 32 - Gráfico de variação de custo em função do frete para o cenário <i>cluster/hard roof</i> , <i>plots</i> disponíveis	86

Figura 33 - Localização de instalações em função do frete para o cenário <i>cluster/hard roof</i> e <i>plots</i> disponíveis, para o mês de novembro de 2016.....	87
Figura 34 - Gráfico de variação de custo em função do frete para o cenário individual <i>cluster</i> versus <i>hard roof</i> , <i>plots</i> ocupados	88
Figura 35 - Gráfico de variação de custo em função do frete para o cenário individual <i>cluster</i> versus <i>hard roof</i> , <i>plots</i> planejados.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação de Gestão da Cadeia de Suprimentos Comercial e Humanitária (continua)	23
Tabela 2 - <i>Kits</i> de suprimentos por <i>plot</i>	34
Tabela 3 - Cenários e adaptações do modelo necessárias	44
Tabela 4 - Índice dos depósitos <i>hub</i>	49
Tabela 5 - Índices de locais para instalação	50
Tabela 6 - Índices de tipos de instalações	51
Tabela 7 - Custos de instalações	51
Tabela 8 - Cálculo da capacidade de movimentação de MSU	52
Tabela 9 - Capacidade de movimentação por número de MSU.....	53
Tabela 10 - Cálculo de área de <i>hard roof</i>	53
Tabela 11 - Capacidade de movimentação de <i>hard roof</i>	55
Tabela 12 - Frete por tonelada em função da distância	55
Tabela 13 - Exemplo de parâmetros para o <i>cluster</i> Qayyarah	56
Tabela 14 - Variáveis de resultado do modelo (continua)	59
Tabela 15 - Tipo de instalação por local considerando <i>plots</i> ocupados no cenário MSU (continua)	62
Tabela 16 - <i>Hub</i> de origem por local considerando <i>plots</i> ocupados no cenário MSU (continua)	64
Tabela 17 - Tipo de instalação por local considerando <i>plots</i> planejados no cenário MSU (continua)	66
Tabela 18 - <i>Hub</i> de origem por local considerando <i>plots</i> disponíveis no cenário MSU (continua)	68
Tabela 19 - Resultado de componentes de custo para o cenário MSU (continua)....	69
Tabela 20 - Resultado de componentes de nível de serviço para o cenário MSU (continua)	70
Tabela 21 - Tipo de instalação por local considerando <i>plots</i> ocupados no cenário <i>cluster/hard roof</i> (continua).....	71
Tabela 22 - <i>Hub</i> de origem por local considerando <i>plots</i> ocupados no cenário <i>cluster/hard roof</i>	72
Tabela 23 - Tipo de instalação por local considerando <i>plots</i> planejados no cenário <i>cluster/hard roof</i>	73
Tabela 24 - <i>Hub</i> de origem por local considerando <i>plots</i> disponíveis no cenário <i>cluster/hard roof</i>	74
Tabela 25 - Resultado de componentes de custo para o cenário <i>cluster/hard roof</i> ...	75
Tabela 26 - Resultado de componentes de nível de serviço para o cenário <i>cluster/hard roof</i>	76
Tabela 27 - Análise de sensibilidade de pontos de gargalo limite para o cenário <i>cluster/hard roof</i>	78
Tabela 28 - Análise de sensibilidade de pontos de gargalo limite para o cenário MSU	79
Tabela 29 - Análise de sensibilidade de tempo limite para o cenário <i>cluster/hard roof</i> (continua)	79
Tabela 30 - Análise de sensibilidade de tempo limite para o cenário MSU	81

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2	OBJETIVO DO TRABALHO	17
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1	MODELOS DE LOCALIZAÇÃO.....	19
2.2	LOGÍSTICA HUMANITÁRIA.....	23
2.3	PESQUISAS SOBRE O TEMA.....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1	O PROBLEMA.....	31
3.2	TRATAMENTO DE DADOS E ANÁLISES	39
3.3	MODELO MATEMÁTICO	43
	3.3.1 Cenário <i>cluster</i> e <i>hard roof</i>	44
	3.3.2 Cenário MSU.....	47
3.4	OBTENÇÃO DE PARÂMETROS	49
3.5	PROCESSAMENTO DO MODELO	57
4	RESULTADOS	61
4.1	CENÁRIO MSU	61
4.2	CENÁRIO <i>CLUSTER</i> E <i>HARD ROOF</i>	71
5	DISCUSSÃO	77
5.1	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DE SERVIÇO.....	77
5.2	CALIBRAÇÃO DO MODELO.....	81
	5.2.1 Pontos de gargalo.....	81
	5.2.2 Tempo de trajeto	83
	5.2.3 Fator de segurança.....	84
	5.2.4 Frete	85
	5.2.5 Cenários.....	87
5.3	LIMITAÇÕES DO MODELO	89
5.4	PRINCIPAIS RESULTADOS GLOBAIS DO MODELO	90
6	CONCLUSÕES	93
	APÊNDICE A – PROGRAMA <i>PYTHON GUROBI</i> CENÁRIO <i>CLUSTER/HARD ROOF</i>	95
	REFERÊNCIAS.....	101

1 INTRODUÇÃO

O manual de logística para preparação e resposta de desastres da Cruz Vermelha (Red Cross, 2012) entende o papel do serviço de suporte logístico humanitário como responsável pela utilização dos fundos disponíveis da melhor maneira, buscando levar recursos no local, hora, quantidade, qualidade e preço certos. O ciclo de funções da operação inclui o primeiro passo de avaliação e entendimento da demanda, seguido pela mobilização e aquisição dos recursos necessários para atendê-la. As funções de armazenagem e transporte garantem a chegada em boas condições dos produtos até aqueles que os necessitam. Por fim, parte importante do processo é reportar aos responsáveis e doadores o destino dos recursos mobilizados.

A Agência Federal de Gestão de Emergências do governo dos Estados Unidos da América (FEMA, 2001) define quatro fases do gerenciamento de emergências: a mitigação, focada em prevenir ou minimizar os efeitos da emergência; preparação, focada em planos e ações antes da ocorrência da emergência; resposta, focada em ações de preservação de vidas e minimização de danos durante uma emergência, e recuperação, focada em ações para retornar às condições normais ou até melhores do que àquelas anteriores à emergência.

O presente trabalho pretende realizar uma análise acerca da operação de logística humanitária na fase de resposta à ofensiva militar para a retomada da cidade de Mossul, Iraque, ocorrida em 2016, buscando identificar oportunidades de melhorias e reduções de custo. A contextualização da sequência de acontecimentos da ofensiva é importante para compreender a evolução das expectativas de demanda para as pessoas internamente deslocadas (IDP) em função da operação e delinear o objetivo da análise.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

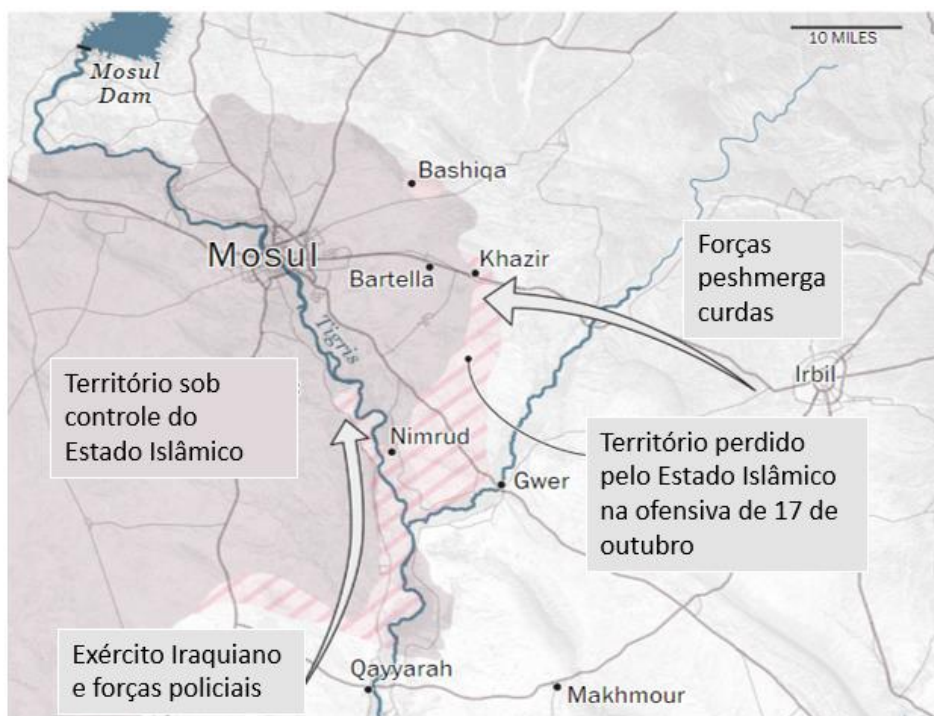
A ofensiva de Mossul por parte de forças iraquianas teve como objetivo a reconquista da maior cidade controlada pelo Estado Islâmico desde a proclamação do Califado

em 2014. Na época, o vice-secretário geral da ONU para Assuntos Humanitários, Stephen O'Brien, demonstrou preocupação pela segurança dos habitantes da cidade iraquiana, em torno de 1,5 milhão de pessoas. (Espinosa, 2016).

A coalizão internacional, liderada pelos Estados Unidos com aliados como Reino Unido e França, forneceu, por um lado, a coordenação terrestre e, por outro, a cobertura aérea nos entornos de Mossul. Colaboraram também milícias xiitas e árabes, acompanhadas pelo Exército iraquiano e por forças curdas peshmerga (Reuters, 2016).

A ofensiva de Mossul teve início em 16 de outubro de 2016, quando as forças curdas peshmerga aproximaram-se pelo lado leste da periferia da cidade, enquanto o Exército do Iraque avançava pela porção sul (GIBBONS-NEFF, T. et al., 2017), conforme ilustrado na Figura 1, com o controle do Estado Islâmico destacado.

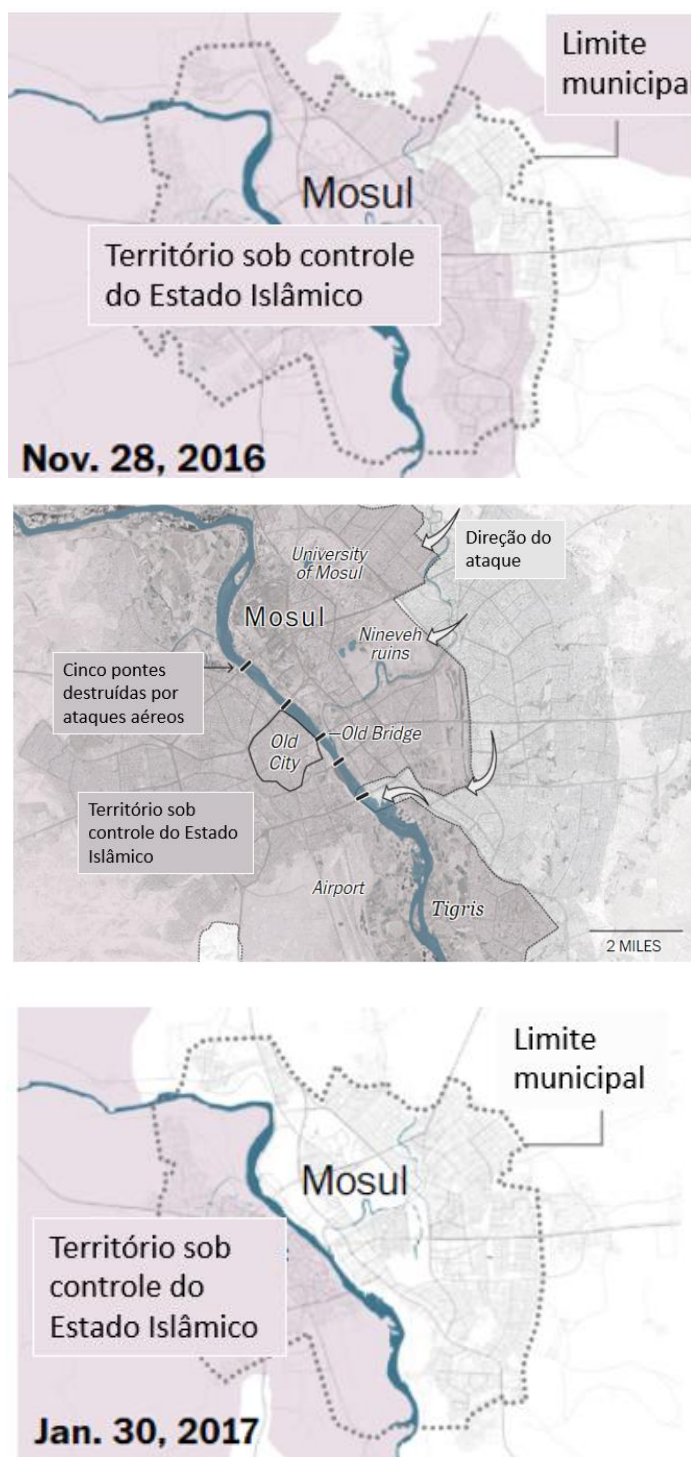
Figura 1 - Controle do Estado Islâmico em 18 out. 2016



Fonte: Adaptado de GIBBONS-NEFF, T. et al. (2017, tradução nossa)

A retomada da porção leste da cidade foi gradativa, levando a população a sofrer com a escassez de água tratada e de comida (GIBBONS-NEFF, T. et al., 2017), conforme a Figura 2.

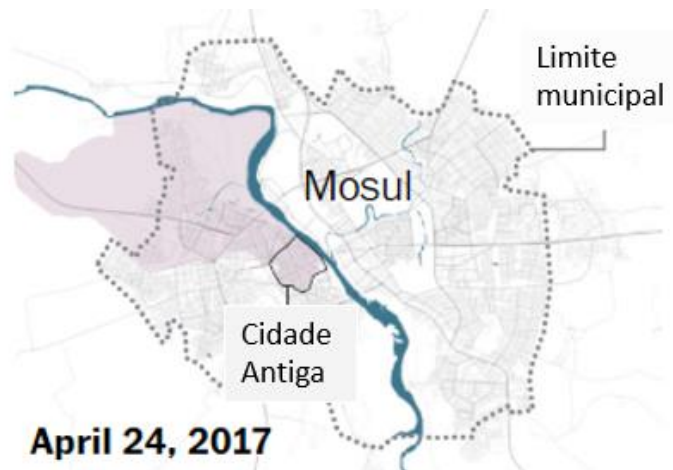
Figura 2 - Evolução da ofensiva em nov. 2016 e jan. 2017



Fonte: Adaptado de GIBBONS-NEFF, T. et al. (2017, tradução nossa)

Em fevereiro, foi iniciado o combate pela reconquista da porção ocidental de Mossul, caracterizada por suas ruas estreitas, e da Cidade Antiga. No final de abril, após retomada da parte sudoeste de Mossul, a ofensiva passou a concentrar esforços na Cidade Antiga (GIBBONS-NEFF, T. et al., 2017), conforme a Figura 3.

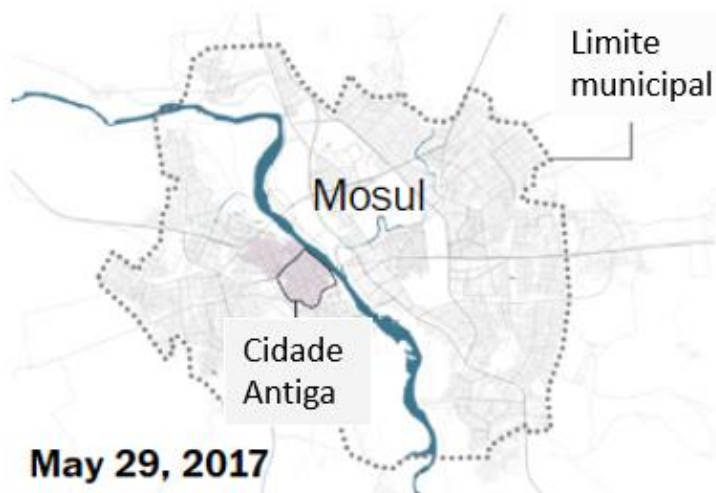
Figura 3 - Situação da cidade de Mossul em 24 abr. 2017



Fonte: Adaptado de GIBBONS-NEFF, T. et al. (2017, tradução nossa)

Uma nova ofensiva no mês de maio cercou a Cidade Antiga, que permaneceu sob as forças da coalizão internacional até 10 de julho de 2017, quando foi declarado o encerramento do conflito (GIBBONS-NEFF, T. et al., 2017). A Figura 4 ilustra a situação da cidade ao fim de maio.

Figura 4 - Situação da cidade de Mossul em 29 mai. 2017

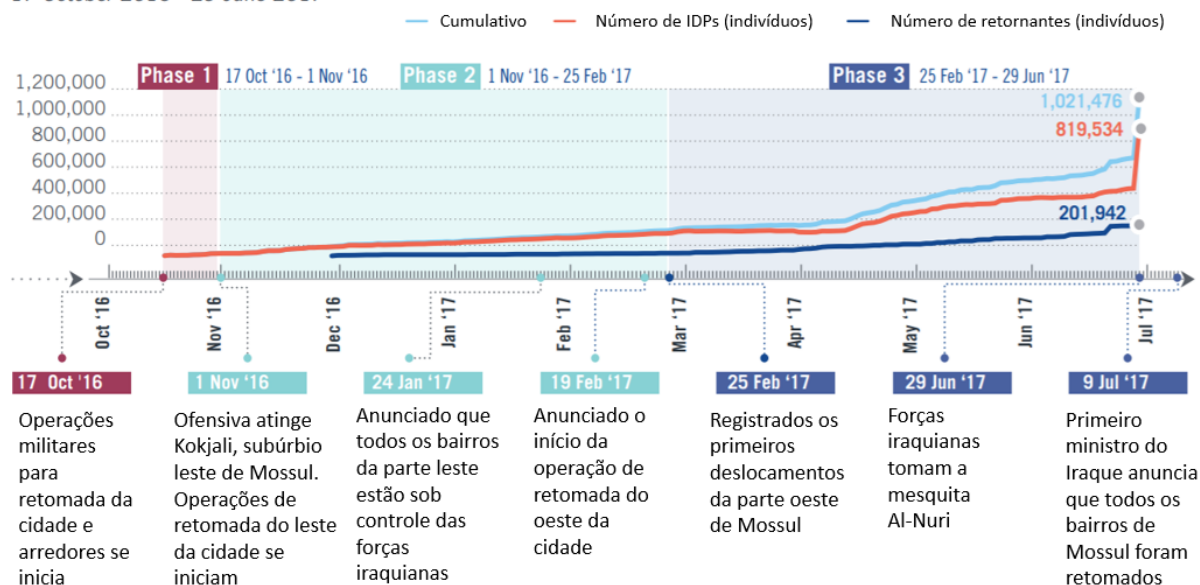


Fonte: Adaptado de GIBBONS-NEFF, T. et al. (2017)

Segundo a Organização Internacional para as Migrações, mais de 800 mil indivíduos deixaram suas casas durante o período de outubro de 2016 a julho de 2017. Apesar de haver um grande aumento nos registros de junho, esse resultado deveu-se à alteração do método de coleta dos dados, não significando o reflexo de um evento específico (BBC, 2017). A evolução da situação ao longo do tempo está representada na Figura 5.

Figura 5 - Gráfico da quantidade de indivíduos deslocados em função da crise de Mossul

17 October 2016 - 29 June 2017



Fonte: Adaptado de Nações Unidas (2017, tradução nossa)

Relatórios de 19 de outubro de 2016, publicados pelo OCHA (Escritório das Nações Unidas de Coordenação de Assuntos Humanitários), estimavam o deslocamento de cerca de 200 mil pessoas nas primeiras semanas do conflito, com projeções de um milhão de pessoas no total. A expectativa era de que cerca de 700 mil pessoas poderiam precisar de abrigos emergenciais, dos quais 365 mil já estariam em planejamento.

A capacidade inicial de campos para deslocados internos era de 60 mil pessoas, equivalente a 10 mil *p/ots*, que podem ser definidos como estruturas de acomodação para as pessoas deslocadas, planejadas para abrigar 6 indivíduos, conforme ilustrado na foto do campo Essian (Figura 6).

Figura 6 - Foto do campo Essian com diversos *plots*

Fonte: Adaptado de Reach (2016)

Segundo entrevista com especialista da área de logística humanitária, o fluxo para pessoas deslocadas de Mossul era primeiramente a conversão para pontos de agrupamento, onde eram revistadas em busca de armas e explosivos. Posteriormente, as famílias eram encaminhadas aos locais de triagem, onde os membros do gênero masculino eram examinados para afiliação. As famílias em necessidade de abrigo eram encaminhadas para campos, porém, uma parcela dos deslocados era capaz de prosseguir para outras cidades onde se hospedavam com familiares ou amigos. Os campos eram definidos e ocupados conforme a progressão das linhas de batalha (informação verbal)¹.

A organização denominada *Logistics Cluster* é responsável pela coordenação, gerenciamento de informação e viabilização do acesso a estruturas logísticas comuns para a resposta logística em missões humanitárias emergenciais. Ao lado da Acted, responsável pela integração de mecanismos de assistência em resposta imediata, recuperação, mitigação e prevenção, as organizações formaram uma parceria logística para o caso de Mossul. A estrutura de logística incluía armazéns públicos, cuja localização seria selecionada como forma de atender a “última milha”, podendo ser utilizada por múltiplos parceiros² (informação verbal).

¹ Informação fornecida por COSTA, O. A. F. durante reunião realizada no CISLOG em agosto de 2017.

² Informação fornecida por COSTA, O. A. F. durante reunião realizada no CISLOG em agosto de 2017.

Segundo o *Logistics Cluster* (2017), uma das principais dificuldades logísticas envolvidas no processo foi a necessidade de coordenação e informação, uma vez que o cenário de operação era constantemente alterado. Além disso, havia a restrição de movimentação da carga em função da segurança e infraestrutura danificada, em especial pontes. Atrasos em função da burocracia exigida na movimentação da carga e a baixa capacidade de armazenamento para estoque de segurança também apresentaram obstáculos à operação.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho tem por objetivo avançar o estado da arte em logística humanitária através do desenvolvimento de um modelo de escolha da localização dos centros de abastecimento dos campos de pessoas internamente deslocadas ou refugiadas, de forma a permitir que organizações que atuam no ramo avaliem de maneira objetiva a vantagem da centralização e colaboração logística em função de ganhos de escala.

Embora o modelo esteja focado no estudo de uma operação específica, é possível que os resultados sirvam de base para a construção de novos modelos de localização de armazéns, além de fornecer subsídios para a criação de modelos de apoio para os tomadores de decisão na fase de planejamento. Um exemplo de aplicação seria em Myanmar, onde ocorre uma situação semelhante à de Mossul, em função de conflitos e desastres naturais, fazendo com que o número de pessoas deslocadas no estado do Arração tenha atingido a marca de 128 mil pessoas em maio de 2018 (OCHA, 2018).

Diferentemente de uma operação empresarial, onde os gestores contam com processos contínuos e ferramentas de controle consolidadas, operações de caráter humanitário e emergencial possuem geralmente método provisório e singular para cada evento. Além disso, tais ações de resposta encontram frequentemente variáveis de diferentes naturezas, desde fatores geográficos, climáticos e até políticos. Assim sendo, o estudo posterior às ocorrências é fundamental para o aprimoramento das

intervenções, uma vez que pessoas em situação vulnerável dependem da eficiência da operação e do máximo aproveitamento dos recursos disponíveis.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para compreensão e modelagem do problema, é fundamental o embasamento teórico obtido pela revisão da literatura, cobrindo aspectos importantes de modelos de localização clássicos, particularidades da logística humanitária em comparação à logística empresarial, além de um breve estudo sobre pesquisas do tema de localização de distribuição de suprimentos de logística humanitária.

2.1 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO

Daskin (1995) propõe uma taxonomia para modelos de localização, na qual problemas podem ser classificados conforme os seguintes aspectos:

- Representação da demanda e locais candidatos, podendo ser planar, com uma distribuição espacial que permite qualquer coordenada do plano; em redes, com a possibilidade de localização nos nós da rede; ou modelos de localização discreta, na qual são avaliadas distâncias arbitrárias e não há estrutura de rede.
- Ramificação, podendo ser em árvores, quando há no máximo um caminho de qualquer nó para outro nó, ou problemas de grafos gerais, onde tal condição não ocorre e é possível ter ciclos.
- Métricas de distância, podendo ser uma distância euclidiana, em linha reta; distância de Manhattan, em ângulos retos; ou a distância de Minkowski (lp).
- Número de instalações a serem localizadas, podendo ser apenas um local ou vários, além de poder ser um problema que determina a quantidade de instalações a serem abertas ou um problema que as recebem como parâmetro.
- Relação com o tempo, podendo ser estático, onde os dados de entrada não dependem do tempo e o problema é resolvido para um período representativo; ou dinâmico, quando há dependência do tempo.
- Relação com a incerteza, podendo ser determinístico ou probabilístico, sujeito a incertezas.
- Variedade de produtos, podendo ser um problema para apenas um produto ou múltiplos produtos.

- Setor, podendo ser do setor privado ou setor público.
- Objetivo, podendo considerar apenas um objetivo ou múltiplos objetivos.
- Demanda, podendo ser elástica ou inelástica.
- Capacidade de instalações, podendo ser limitada ou ilimitada.
- Alocação de demanda, podendo alocar à instalação mais próxima, permitindo ou não o suprimento da demanda por mais de uma instalação, ou podendo ser um problema de alocação de demanda geral.
- Hierarquia, podendo ser hierárquica, quando há um fluxo determinado para as instalações sendo estudadas, ou considerando apenas um nível.
- Desejabilidade das instalações, podendo ser desejável ou indesejável (quando há o desejo de localização o mais longe possível, como locais com risco de danos à saúde ou ao estilo de vida).

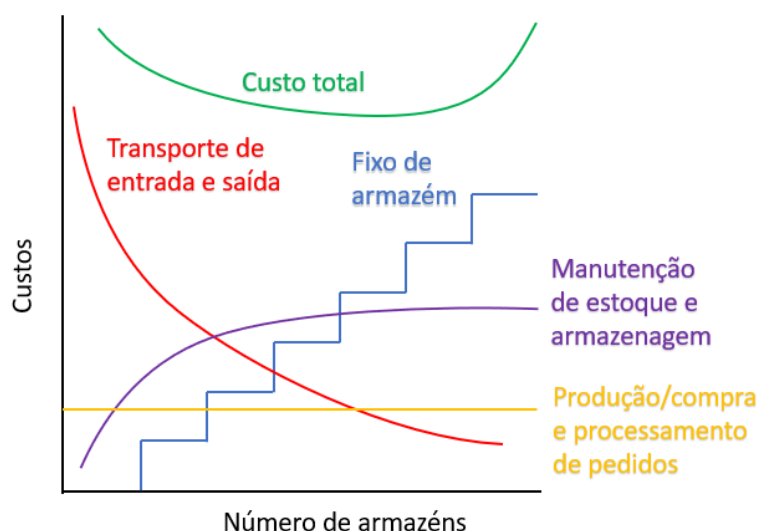
Já segundo Ballou (2006), é possível classificar problemas de localização conforme cinco aspectos: força direcionadora, número de instalações, descontinuidade das escolhas, grau de agregação dos dados e o horizonte de tempo. A força direcionadora pode ser composta de fatores majoritariamente econômicos em problemas tradicionais de localização de fábrica ou armazéns, enquanto fatores relacionados à facilidade de acesso podem se tornar predominantes quando a localização está associada a operações de serviços. Problemas com instalação única são mais simples, enquanto múltiplas instalações possuem a necessidade de considerar a divisão de demanda, o efeito de consolidação dos estoques e custos de instalação. A descontinuidade de escolhas refere-se à possibilidade de preferências dentre opções discretas que foram identificadas como viáveis ou a possibilidade de localização num espaço contínuo. O grau de agregação de dados é importante para gerenciar o tamanho do problema, que pode considerar desde localização de ruas até em uma cidade inteira. O horizonte de tempo diferencia um modelo estático de um modelo dinâmico, no qual engloba-se o planejamento de localização em múltiplos períodos.

Um dos métodos para resolução de problemas de localização única é o centro de gravidade, no qual são considerados o volume do ponto e a tarifa de transporte. Métodos para resolução de problemas de localizações múltiplas podem ser identificados como métodos exatos, nos quais encontra-se uma solução matemática

ótima ou de aceitável previsão, métodos de simulação, em que há uma representação matemática de um sistema logístico manipulável em computador conforme especificações escolhidas, e métodos heurísticos, que são capazes de determinar soluções com rapidez, embora não encontrem uma solução ótima. Métodos exatos de resolução incluem a abordagem de múltiplo centro de gravidade, na qual o modelo para instalação única é adaptado para localização de um conglomerado de pontos, e o método de programação linear inteira combinada, capaz de proporcionar uma solução ótima lidando também com custos fixos.

Ainda segundo o autor, problemas de localização tipicamente devem compensar custos relevantes para a localização, incluindo custos de produção e compra; estocagem e manuseio no armazém, custos fixos, manutenção de estoque, custos de processamento dos pedidos de estoques e pedidos dos clientes, custos de transporte de entrada e saída do armazém. Cada um desses custos varia de acordo o número de armazéns, conforme a relação apresentada na Figura 7.

Figura 7 - Compensação de custos em problemas de localização de armazéns



Fonte: Adaptado de Ballou (2006)

A configuração da rede de instalações logísticas inclui a especificação das instalações que serão usadas (localização, número de instalações), além de quais produtos e clientes elas deverão atender, os serviços de transporte utilizados, os fluxos de produtos a partir da fonte e a quantidade de estoques a ser mantida (Ballou, 2006).

Daskin (1995) apresenta um modelo matemático para problemas de localização com custo fixo e capacidade limitada, no qual os parâmetros são:

- f_j = custo fixo de localizar instalação no local j
- h_i = demanda no nó i
- d_{ij} = distância da demanda no nó i até instalação candidata j
- α = custo por unidade de distância por unidade de demanda
- k_j = capacidade da instalação candidata j se uma instalação é localizada ali

As variáveis de decisão seriam:

- $X_j = \begin{cases} 1, & \text{se } j \text{ possui uma instalação} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- Y_{ij} = fração da demanda no nó i suprida pelo nó j

Dessa forma, a função objetivo seria:

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

Sujeito às restrições:

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

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

$$\sum_i h_i Y_{ij} \leq k_j X_j \quad \forall j \quad (4)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (5)$$

$$Y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (6)$$

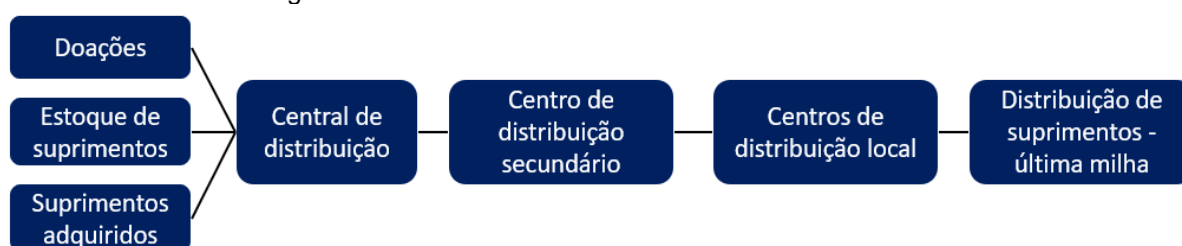
A expressão da form.(1) busca minimizar a somatória dos custos para todas as localidades j , sendo que os custos fixos são multiplicados pela variável binária que determina se a instalação será aberta pelo modelo. A condição expressa na eq.(2) garante que cada nó i terá uma fração de 100% suprida pelas diversas instalações j . A eq.(3) garante que caso haja uma fração de demanda do nó i suprida por j , a variável binária assumirá valor 1, indicando que a instalação será aberta. A eq.(4) garante que a soma da demanda dos nós i em cada uma das instalações j seja menor ou igual que

sua capacidade máxima, no caso da instalação no local j ser aberta. As duas últimas condições garantem que a variável X_j seja binária e a variável Y_{Ij} seja não negativa.

2.2 LOGÍSTICA HUMANITÁRIA

Segundo Nogueira, Gonçalves e Novaes (2008), a cadeia de abastecimento de assistência humanitária segue um fluxo de consolidação de produtos doados ou fornecidos em estoques pré-posicionados geralmente em local estratégico. Posteriormente, os suprimentos são transportados até um centro de distribuição, usualmente situado em cidade de maior porte, para separação, classificação e transporte até centros locais, para depois serem entregues aos beneficiários, conforme ilustrado pela Figura 8.

Figura 8 - Estrutura de cadeia de assistência humanitária



Fonte: Adaptado de Nogueira, Gonçalves e Novaes (2008)

Ertem, Buyurgan e Rossetti (2010), ao propor uma estrutura de leilões de múltiplos compradores na gestão da cadeia de suprimentos humanitária, discutem a comparação entre a gestão da cadeia de suprimentos comercial e humanitária, conforme representado na Tabela 1:

Tabela 1 - Comparação de Gestão da Cadeia de Suprimentos Comercial e Humanitária (continua)

Tópico	Cadeia de suprimentos comercial	Cadeia de suprimentos humanitária
Objetivo principal	Maximizar lucro.	Salvar vidas e ajudar beneficiários.
Padrão de demanda	Razoavelmente estável e previsível com base em técnicas de previsão.	Irregular quanto à quantidade, tempo e local. Demanda é estimada nas primeiras horas de resposta.
Padrão de suprimentos	Majoritariamente previsível.	Dinheiro é doado para aquisições. Outros donativos precisam de separação conforme priorização para redução de gargalos.
Tipo de fluxo	Produtos comerciais.	Recursos como veículos de evacuação, pessoas, abrigo, comida, kits de higiene, entre outros.
Lead time	Majoritariamente pré-determinado.	Aproximadamente <i>lead time</i> zero, a demanda é imediata.

Tabela 1 - Comparação de Gestão da Cadeia de Suprimentos Comercial e Humanitária
(conclusão)

Tópico	Cadeia de suprimentos comercial	Cadeia de suprimentos humanitária
Estrutura de rede de distribuição	Técnicas estabelecidas para encontrar o número de centros de distribuição e armazéns.	Estabelecimentos de distribuição <i>ad hoc</i> ou nodais de demanda, estrutura dinâmica.
Controle de inventário	Estoque de segurança para certos níveis de serviço podem ser encontrados facilmente quando o padrão de demanda é dado.	O padrão de demanda imprevisível torna o controle de inventário desafiador. Estoques pré-posicionados geralmente são insuficientes.
Tecnologia e sistemas de informação	Tecnologia altamente desenvolvida é utilizada com pacotes de software comerciais.	Menos tecnologia é usada, menos pacotes de software capazes de registrar e acompanhar dados logísticos. Rede de dados inexistente.
Método de medição de performance	Baseado em métricas padronizadas de cadeia de suprimentos.	Tempo de resposta ao desastre, taxa de preenchimento, percentual de demanda atendida completamente, atingir expectativas de doadores.
Equipamentos e veículos	Caminhões regulares, veículos e empilhadeiras.	Equipamentos robustos são necessários para serem facilmente montados e desmontados.
Recursos Humanos	Gestão de cadeia de suprimentos é uma carreira reconhecida.	Alta rotatividade de funcionários, baseado em voluntários, ambiente físico e psicológico duro.
<i>Stakeholders</i>	Acionistas, clientes e fornecedores.	Doadores, governos, militares, ONGs, beneficiários, Nações Unidas, entre outros.

Fonte: Ertem, Buyrgan e Rossetti (2010, tradução nossa)

Schulz (2009) discute também características que diferem as necessidades da cadeia de suprimentos de emergência e aquela tradicional do setor privado. Tais características, que tornam a cadeia de suprimentos ainda mais desafiadora, incluem o fato de os consumidores (beneficiários) não coincidirem com os clientes (doadores), a incerteza com relação ao local, o tempo e a demanda dos próximos eventos, a dependência de vidas humanas na performance das operações, a necessidade de *lead time* baixo, afetando níveis de estoque, transporte e distribuição. Além disso, há frequentemente danos às infraestruturas locais, envolvimento de diversos *stakeholders*, aspectos de segurança e alto *turnover* de colaboradores.

Hovhanessian (2012), discute barreiras à coordenação em organizações humanitárias, tais como a dificuldade de compartilhamento de conhecimentos e informações, políticas do governo local, a diversidade de organizações dispostas a ajudar e suas divergências culturais, linguísticas e políticas. Além disso, existe a expectativa dos doadores e condições impostas pelos investidores, a imprevisibilidade da sequência de eventos, escassez de alguns recursos ou excesso de outros que não possuem demanda. O custo de coordenação inclui salários, viagens e reuniões. No

entanto, existem bons motivos para investir na coordenação, que pode ser classificada em dois tipos: horizontal, na qual coordenam-se atores, atividades e recursos em informação, investimento e fluxo de materiais para companhias em estágios semelhantes da cadeia de suprimentos, de forma a atingir economia de escala e reduzir custo, além de permitir maior acesso a recursos físicos, de informação e competências; por outro lado há a coordenação vertical, na qual existe um enfoque no consumidor e na sincronização, de forma a reduzir custos da cadeia de suprimentos (ainda que haja aumento para alguns atores), mas sempre focando no nível de serviço por fluxos melhores, podendo envolver companhias em estágios diferentes da cadeia.

Segundo Lima e Gonçalves (2011), tradicionalmente, organizações de ajuda humanitária internacional operam de forma separada em suas atividades de transporte, distribuição e armazenagem. Como as crises humanitárias exigem uma tomada de decisão rápida, o levantamento de informações em duplicidade por diversas agências humanitárias e a divergência entre as informações prejudicam a eficiência e eficácia do processo. Dessa forma, justifica-se a ativação do *United Nations Joint Logistics Centre* (UNJLC), cujas responsabilidades abrangem suporte logístico operacional (planejamento, coordenação e monitoramento), otimização e complementação de capacidades logísticas, além de coletar, analisar e disseminar informações relevantes. Outras funções incluem coordenação da capacidade de armazenagem disponível, identificação de gargalos no processo e provisão de avaliações de infraestruturas logísticas.

2.3 PESQUISAS SOBRE O TEMA

Boonmee, Arimura e Asada (2017) fizeram um levantamento da literatura acerca de problemas de localização em logística humanitária e classificaram as modelagens encontradas entre modelagens determinísticas, estocásticas, dinâmicas e robustas. Dentre as abordagens determinísticas, foram identificados quatro tipos de problemas distintos. O primeiro deles é o das p-medianas (Minisum), no qual um número determinado de instalações P deve ser localizado, buscando minimizar a distância

total de transporte entre as instalações e a demanda. As variáveis de decisão adotadas são:

- $X_j = \begin{cases} 1, & \text{se } j \text{ possui uma instalação} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } j \text{ atende a demanda do nó } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

Os parâmetros incluem:

- d_{ij} = distância entre ponto de demanda i e instalação j
- cap_j = capacidade da instalação j
- P = número máximo de instalações a serem localizadas
- w_i = peso associado a cada ponto de demanda i

A função objetivo é:

$$\text{MINIMIZAR } \sum_i \sum_j w_i d_{ij} Y_{ij} \quad (7)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_j X_j = P \quad (8)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (9)$$

$$\sum_i w_i Y_{ij} \leq cap_j X_j \quad \forall j \quad (10)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (11)$$

$$Y_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j \quad (12)$$

A segunda abordagem é o problema de cobertura de conjuntos, que busca minimizar o número total de instalações abertas e seu custo fixo, enquanto atendendo todos os pontos de demanda.

Dessa forma, parâmetros adicionais incluem:

- c_j = custo fixo da instalação j

- L_i = limite de distância que uma instalação pode ter para atender um ponto de demanda i
- N_i = conjunto de instalações possíveis para atendimento da demanda no ponto i conforme a distância ($N_i = \{j \mid d_{ij} \leq L_i\}$)

A função objetivo, por sua vez, é:

$$\text{MINIMIZAR } \sum_j c_j X_j \quad (13)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{j \in N_i} X_j \geq 1 \quad \forall i \quad (14)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (15)$$

Em seguida, é colocado o problema de localização máxima, que busca maximização do número de pontos de demanda atendido dentro de uma distância limitada, com uma quantidade fixa de instalações. Para tal, é necessária a adição de uma variável de decisão:

$$Z_i = \begin{cases} 1, & \text{caso ponto } i \text{ atendido por instalação dentro de distância } R \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A função objetivo então passa a ser:

$$\text{MAXIMIZAR } \sum_i w_i Z_i \quad (16)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{j \in N_i} X_j \geq Z_i \quad \forall i \quad (17)$$

$$\sum_{j \in N_i} X_j = P \quad (18)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (19)$$

$$Z_i = 0, 1 \quad \forall i \quad (20)$$

Uma outra abordagem é o modelo de p-centro, que considera que o ponto de demanda deve ser atendido pela instalação mais próxima, com toda a demanda sendo atendida. A utilização desse modelo é comum para o planejamento de hospitais, postos de bombeiros e outras instalações públicas. Outra variável de decisão é adicionada:

- D = distância máxima entre uma localização e o ponto de demanda

Assim, a função objetivo passa a ser:

$$\text{MINIMIZAR } D \quad (21)$$

Com as restrições:

$$\sum_j X_j = P \quad (22)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (23)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \quad (24)$$

$$D \geq \sum_j d_{ij} Y_{ij} \quad \forall i \quad (25)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (26)$$

$$Y_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j \quad (27)$$

Por fim, existem problemas de localização de instalações indesejáveis, que buscam afastar as instalações dos pontos de demanda, mas ainda ter uma proximidade de plantas de tratamento, aterros, entre outros. Em logística humanitária, esse modelo pode ser associado a locais de tratamento de detritos ou disposição de lixo. A modelagem passa, então, a ter a função objetivo alterada. No caso do problema de p-medianas, passa a ser a maximização da distância total entre demanda e instalação. No caso dos problemas de cobertura, passa a selecionar as instalações e minimizar o número de pontos de demanda cobertos. O problema de p-centros é adaptado para a seleção de instalações maximizando a distância mínima até a demanda.

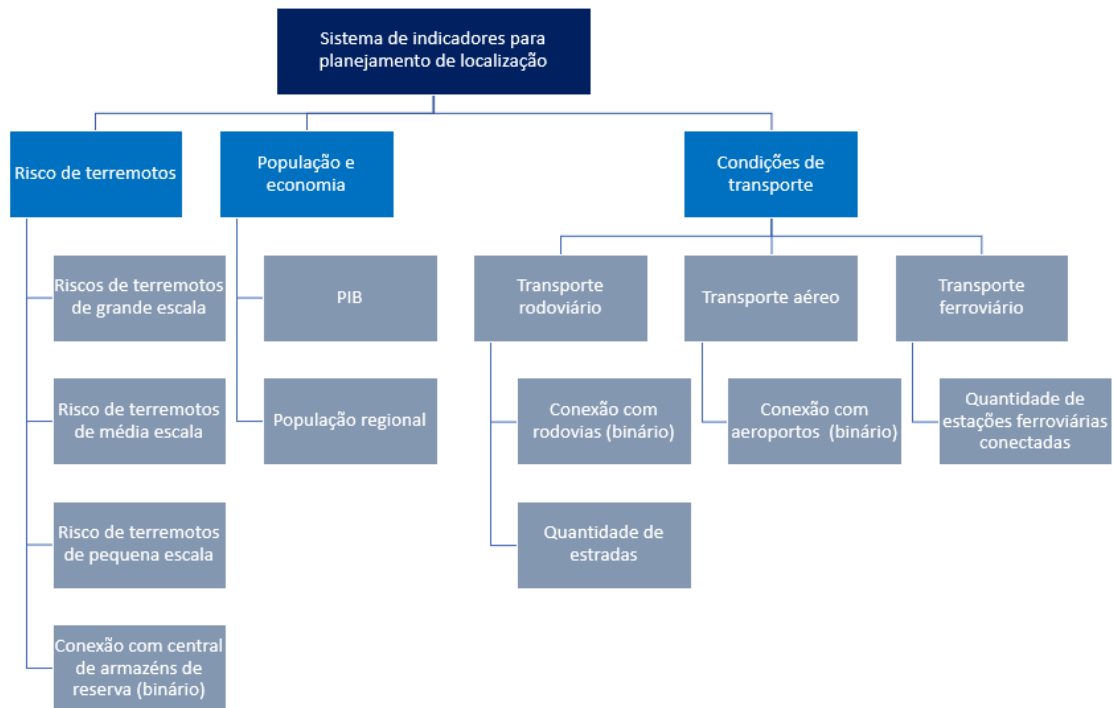
Ao propor um modelo de otimização de quantificação do impacto de uma expansão de rede logística e a localização de itens de resposta para organizações humanitárias,

Jahre, et al. (2016) determinam nove fatores para o desenvolvimento do modelo. O primeiro grupo está relacionado a características da demanda, incluindo a demanda em andamento, a demanda de emergência e sua incerteza relacionada. Com relação à logística, fatores compreendem a capacidade de transporte e armazenagem, seus custos relacionados, o *lead time* da rede e sua acessibilidade. Por fim, há fatores políticos e de segurança, incluindo relacionamento com governo, nível de segurança do local, risco de roubos, acesso a recursos humanos e a locação conjunta com outras organizações. Os resultados obtidos sugerem que o pré-posicionamento permite adoção de diversos armazéns globais, além de reduzir custos e tempos de resposta. Outra conclusão importante é a relevância de aspectos como segurança, acessibilidade e locação conjunta no resultado da rede proposta pelo modelo.

CAO, et al. (2012) propuseram um estudo sobre a localização de centros logísticos em resposta a desastres com terremotos. Em seu modelo, foram considerados três tipos de centros logísticos. Os centros de primeiro grau são capazes de atender a demanda de 15 mil pessoas, embora sejam em menor número. São conectados com diversos tipos de transporte tais como rodovias e aeroportos. Os centros de segundo grau são mais numerosos, capazes de atender 9 mil pessoas. Os centros de terceiro grau teriam capacidade para atender 4 mil pessoas, conectados ao menos a uma ou duas estradas. Esses são os centros em maior número. Para a tomada de decisão e estruturação do modelo, foram considerados alguns indicadores, conforme expresso pela Figura 9.

Para a modelagem matemática de otimização, foi utilizada uma função objetivo de minimização do custo logístico.

Figura 9 - Sistema de indicadores para localização de centros logísticos de emergência



Fonte: Adaptado de CAO, et al. (2012, tradução nossa)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para estudar o problema de localização de centros de distribuição de suprimentos para a operação de resposta da ofensiva de Mossul, é fundamental compreender as condições existentes, assim como os recursos e opções disponíveis, além de algumas restrições características da operação. Dessa forma, através da análise dos dados tratados fornecidos por agências envolvidas na operação, é possível observar a evolução da ocupação dos campos ao longo do tempo, assim como sua distribuição geográfica.

A definição do modelo matemático busca traduzir os objetivos, restrições e aspectos da operação de forma a permitir a obtenção de resultados mais representativos da realidade quanto possível. Dessa forma, a obtenção de parâmetros, ainda que através de estimativas, é fundamental.

3.1 O PROBLEMA

Conforme o *Logistics Cluster* (2017), a distribuição de suprimentos referentes à operação de Mossul iniciava-se com a consolidação de doações e produtos fornecidos em três *hubs* logísticos no Iraque, nas cidades de Dohuk, Erbil e Tikrit. Nesse caso, os *hubs* podem ser entendidos como estruturas de transbordo dos bens doados ou adquiridos para distribuição, especialmente advindos de outros países.

Partindo de um dos *hubs*, os suprimentos eram transportados até o armazém móvel de cada um dos campos, o *Mobile Storage Unit* (MSU), uma estrutura de montagem rápida para operações humanitárias, apresentando lados de 10 e 24m e 5m de altura, com capacidade para armazenamento de até 840m³ de *Non Food Items* (NFI), segundo o *Logistics Cluster* (2016). A Figura 10 ilustra um campo com diversos MSU.

Ainda conforme informações do *Logistics Cluster* (2012), oito pessoas treinadas são capazes de erguer um MSU de dois a três dias, dado o equipamento e o nivelamento do terreno.

Figura 10 - MSU em campo na Nigéria



Fonte: Adaptado de Ademigbuji (2018)

Atividades para a instalação de um MSU implicam nivelamento do terreno, que tem dimensões de 32m por 56m (para dois MSU), além de cercamento, montagem e instalações de energia, segundo o *Logistics Cluster* (2016).

Segundo entrevistas com especialista, em alguns locais próximos a pontes importantes ou grandes vias³ existiam pontos de gargalo, obstáculos com grande chance de retenção de carga e atraso nas entregas. Dessa forma, evitar tais pontos no transporte também seria um fator crucial para o sucesso da operação, que necessita de *lead times* baixos. As localizações de tais pontos estão ilustradas na Figura 11.

Os suprimentos fornecidos às pessoas deslocadas em operações humanitárias, como as de Mossul, são consolidados na forma de *kits*. O projeto *Sphere*, concebido pela organização não governamental *Sphere* (2011), estabeleceu um documento de padrões mínimos na resposta humanitária, capaz de oferecer condições para que as agências possam atuar de forma efetiva e responsável.

³ Informação fornecida por COSTA, O. A. F. durante reunião realizada no CISLOG em agosto de 2017.

Figura 11 - Mapa de pontos de gargalo



Fonte: Elaborado pelo autor com Google Maps a partir de COSTA (2018)⁴

Dentre os padrões apresentados, um deles refere-se à água para uso sanitário e de higiene (WASH) – com grande importância para prevenção de doenças. Itens de promoção de higiene incluem recipientes para transporte e armazenamento de água, sabonetes e itens de higiene feminina; itens sujeitos a disponibilidade incluem itens de higiene bucal, lâminas de barbear, cortadores de unha e fraldas. A quantidade necessária de água para consumo varia de 2,5 a 3 litros por dia, com uma quantidade de 2 a 6 litros de água para higiene básica e 3 a 6 litros para o preparo de alimentos, totalizando de 7,5 a 15 litros de água por dia para cada pessoa. Com relação à alimentação, são determinados índices nutricionais mínimos para referência. Segundo o catálogo padrão de produtos da Cruz Vermelha, itens de alimentação de recuperação (FFR) incluem enlatados, como carnes, pastas e refeições prontas, e além de grãos, como arroz, milho e trigo, possuem massas, óleos, leguminosas, café, entre outros.

⁴ Informação fornecida por COSTA, O. A. F. durante reunião realizada no CISLOG em agosto de 2017.

O mecanismo de resposta rápida (RRM) inclui um *kit* fornecido para famílias recém-chegadas, contendo itens de higiene, água e porções de alimentos de resposta imediata (IRR), contendo comida pronta para consumo de cinco pessoas por três dias. Outro *kit* é composto de itens não alimentares (NFI), contendo sacos de dormir, redes mosquiteiras, além de utensílios para alimentação (panelas, copos e talheres), segundo o *Camp Coordination and Camp Management* (2017). O *kit* dignidade inclui itens de higiene feminina, roupas íntimas, toalhas, lanternas, itens de vestuário, chinelos, entre outros (UNICEF, 2017).

Cada *kit* é entregue com uma certa frequência semestral e, ao ponderar essa massa por tal frequência, é possível estimar qual seria o peso de um *kit* médio mensal, para adaptação ao modelo. Foram classificados também conforme o tipo de armazenagem, sendo usada armazenagem de piso (cargas sobrepostas ou blocadas) ou armazenagem em porta-paletes. A Tabela 2 indica as informações para os diversos *kits*.

Tabela 2 - *Kits* de suprimentos por *plot*

Item	Tipo de armazenagem	Frequência semestral	Massa (kg)	Massa total (kg)	Média Massa Mensal (kg)
<i>Kit</i> NFI	Porta-palete	2	50	100	16,7
Gás	Piso	2	15,1	30,2	5
IRR (RRM)	Piso	1	7,5	7,5	1,3
<i>Kit</i> higiene (RRM)	Porta-palete	1	4,8	4,8	0,8
<i>Kit</i> higiene (WASH)	Porta-palete	6	7	42	7
<i>Kit</i> dignidade	Porta-palete	7	2,8	19,6	3,3
<i>Kit</i> bebê	Porta-palete	7	0,9	6,3	1
Água (RRM)	Piso	1	24	24	4
Alimentação (FFR)	Piso	6	70,4	422,4	70,4

Fonte: Adaptado de Costa, 2017 (informação verbal)⁵

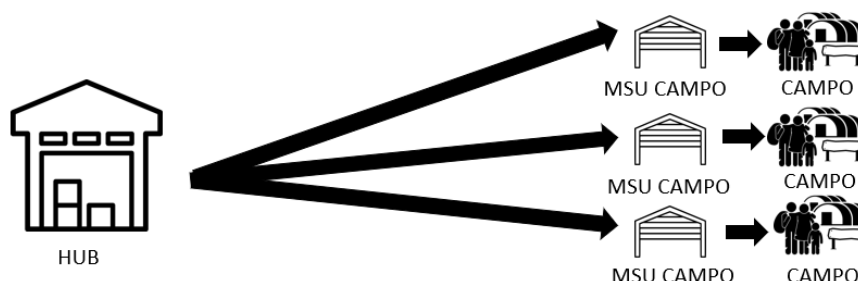
No caso da operação de Mossul, a distribuição de suprimentos era descentralizada, sendo que três *hubs* em cidades maiores da região recebiam e consolidavam produtos, que eram encaminhados por modal rodoviário (caminhão) aos MSU de cada um dos campos, incluindo a separação por agência responsável. Como diversos campos não possuíam grande volume de famílias, não eram utilizadas empilhadeiras, apenas movimentação manual⁶ (informação verbal). A Figura 12 representa o fluxo da

⁵ COSTA, O. A. F. Lista de suprimentos *kit* genérico. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <filipeaacio@gmail.com> em 24 out. 2017.

⁶ Informação fornecida por COSTA, O. A. F. durante reunião realizada no CISLOG em agosto de 2017.

distribuição de suprimentos atual, doravante denominado cenário MSU, para discussão de cenários alternativos.

Figura 12 - Representação do fluxo de suprimentos do cenário MSU (cenário atual)

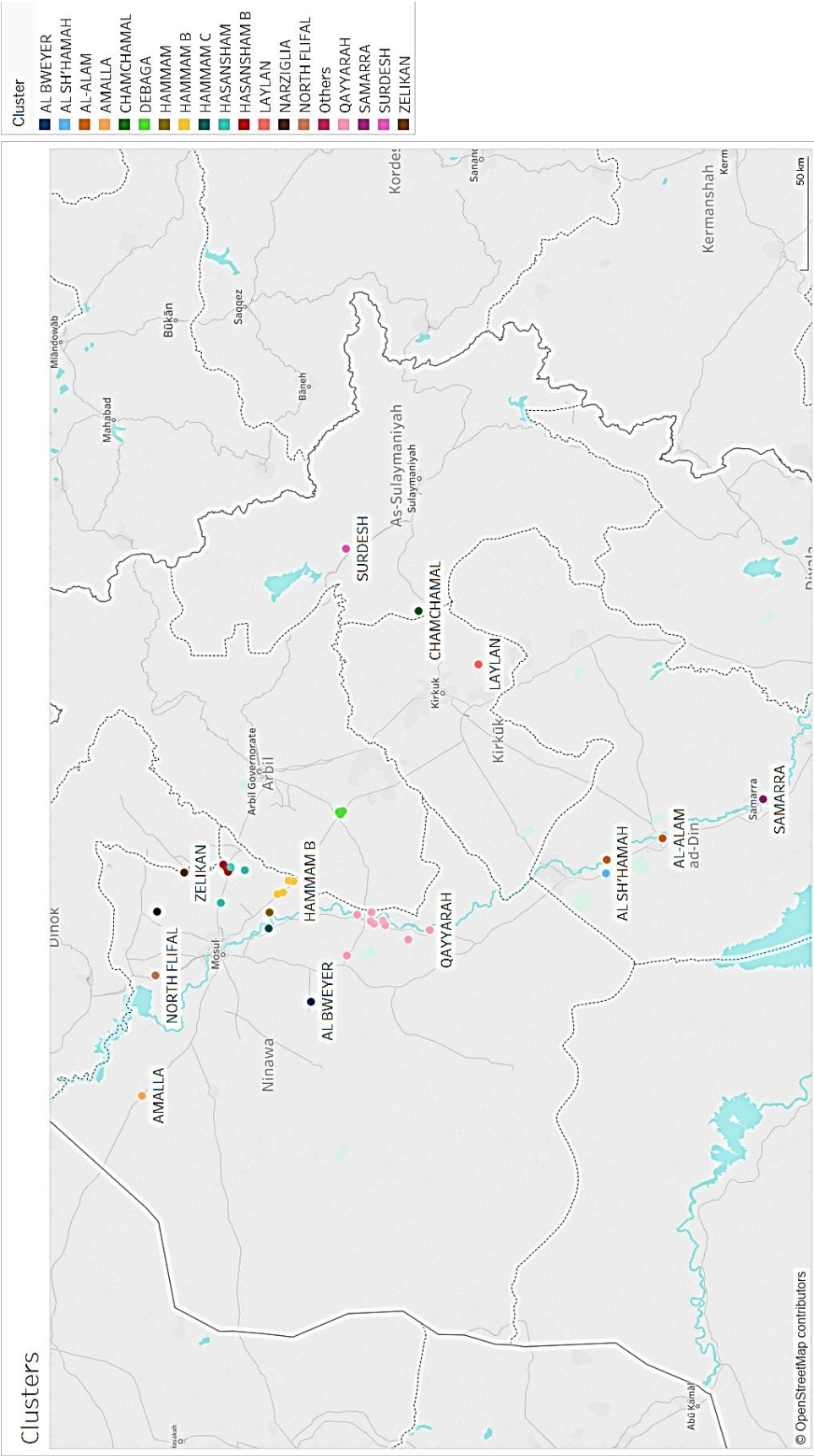


Fonte: Elaborado pelo autor

Dado que os campos apresentavam concentração em alguns pontos geográficos, uma alternativa para a distribuição dos suprimentos seria o armazenamento dos *kits* em MSU de mesma estrutura que o cenário anterior, porém concentrados e em maior número em uma localização para a distribuição rápida entre alguns campos próximos, formando um pequeno *cluster* de distribuição, com transporte realizado por veículos de menor porte e com maior frequência.

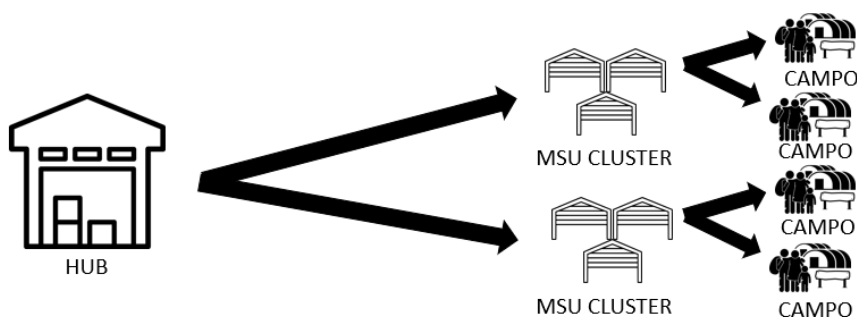
Os *clusters* de campos para a distribuição de suprimentos foram definidos como o agrupado de campos IDP com proximidade geográfica suficiente que justifique a utilização de um veículo para abastecimentos frequentes em vez de um MSU individual. Condições para tal seriam o tempo de deslocamento inferior a 1 hora (considerando uma velocidade média de 40 km/h, distâncias de 40 km) e a inexistência de pontos de gargalo no trajeto. A classificação dos *clusters* está representada pela Figura 13. Dessa forma, é possível obter alguns ganhos de escala com a instalação e mão de obra administrativa, além de possibilitar uma mecanização mínima com empilhadeiras. Como o estoque seria consolidado, a necessidade de estoques de segurança descentralizados também é reduzida. Esse cenário, doravante referido como cenário *cluster*, está representado pela Figura 14.

Figura 13 - Clusters de campos



Fonte: Elaborado pelo autor com o software *Tableau*

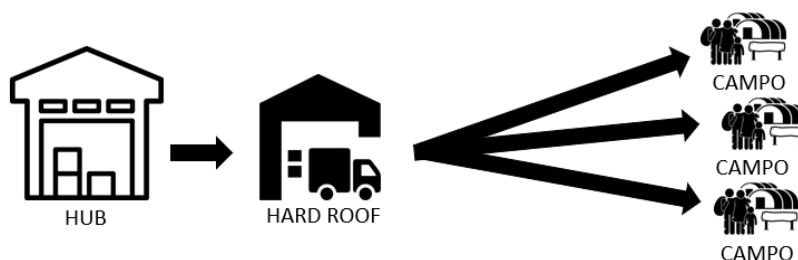
Figura 14 - Representação do fluxo de suprimentos do cenário *cluster*



Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, um outro cenário possível seria a escolha do armazém em um estabelecimento com estrutura de alvenaria, localizado em cidades próximas aos campos, denominado *hard roof*. Dessa forma, a infraestrutura já estaria pronta (instalação elétrica, nivelamento, docas), com custo de aluguel em vez de custo de instalação. Com isso, as cargas seriam ainda mais consolidadas, podendo atender à demanda de diversos campos e *clusters* simultaneamente. Esse cenário permitiria uma redução ainda maior do estoque de segurança, além da possibilidade de maior mecanização e um alto ganho de produtividade. Nesse caso, seriam consolidados *kits* para campos de agências responsáveis distintas, reduzindo também gastos administrativos. A Figura 15 representa esse cenário *hard roof*.

Figura 15 - Representação do fluxo de suprimentos do cenário *hard roof*

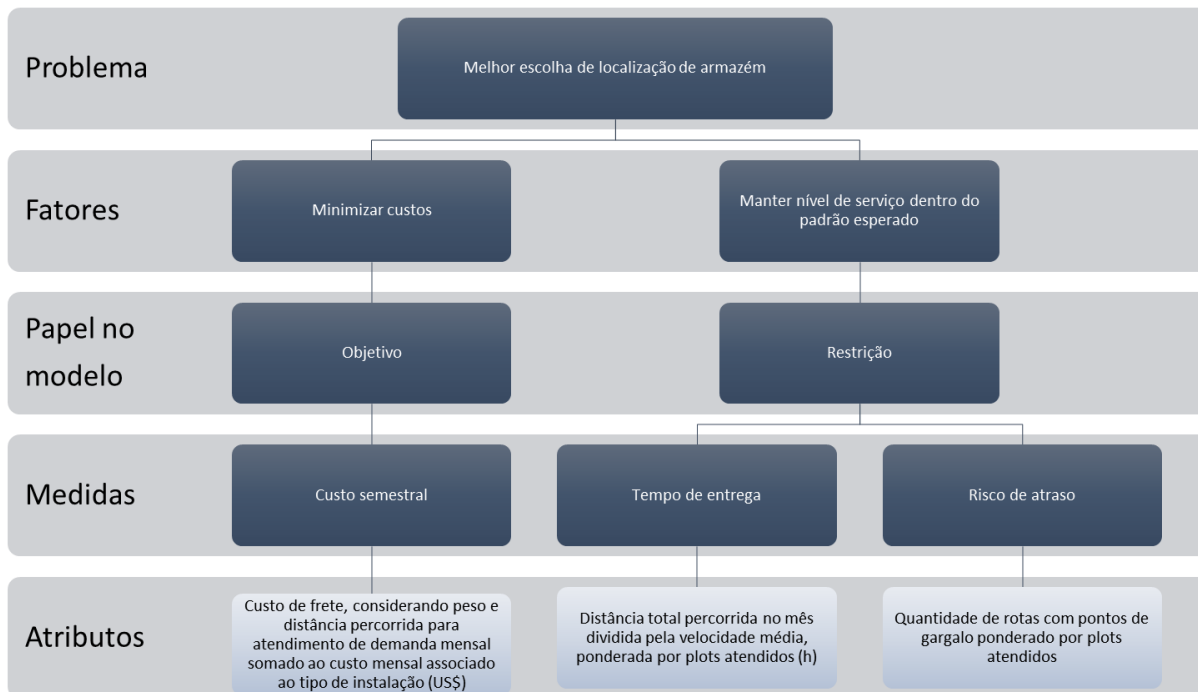


Fonte: Elaborado pelo autor

Para a elaboração do modelo, foi necessário compreender os dois fatores principais da escolha de localização dos armazéns, contrapondo custos e nível de serviço. Optou-se pela utilização do nível de serviço como restrição mínima, visto que atender um determinado tempo de entrega e um número máximo de rotas com risco de atraso (passando por pontos de gargalo) são exigências da própria operação. Assim, obedecendo aos padrões de nível de serviço, é possível minimizar os custos em um

horizonte semestral, de forma a otimizar os recursos investidos pelas agências. A Figura 16 apresenta os fatores e suas medidas e atributos.

Figura 16 - Fatores para escolha de localização de armazém



Fonte: Elaborado pelo autor

O custo semestral de cada localização é obtido a partir da composição dos gastos com frete e os gastos relacionados ao tipo de instalação (seja aluguel, mão de obra, estruturas, nivelamento de terreno, entre outros). Já o nível de serviço pode ser entendido como nível mínimo de riscos de atraso, medido pela quantidade de rotas com pontos de gargalo ponderado pelo número de *plots* atendidos pela rota, e outro componente de tempo máximo de entrega, sendo uma medida aproximada a distância total percorrida no mês sobre a velocidade média, ponderado pela quantidade de *plots* atendidos.

Apesar do esforço das agências para preparação e previsão de demanda, muitas incertezas estão incluídas na tomada de decisão, visto que não se sabe a situação futura da demanda ou sua localização, além da imprevisibilidade de danos às infraestruturas de transporte. Nesse caso, sempre é considerado que o custo de não atendimento da demanda é muito alto, fazendo com que a segurança seja um ponto fundamental.

3.2 TRATAMENTO DE DADOS E ANÁLISES

Para levantamento de dados sobre a demanda de *plots* de campos ao longo do tempo, foram utilizados 49 relatórios de planejamento operacional disponibilizados pela OCHA, partindo de 15 de outubro de 2016 até 06 de julho de 2017.

Os relatórios apresentam os campos, contendo um mapa para localização, a agência responsável, além do número de *plots* ocupados, o número de *plots* disponíveis e o número de *plots* adicionais planejados, sendo que diversos campos ainda estavam em construção. Inicialmente, são apresentados 73 campos com nomes distintos, porém com mudança de nomes ao longo do período que os relatórios foram publicados. Campos que sofreram expansão e agregaram um território vizinho também foram consolidados em apenas um campo.

Foram compiladas bases de dados para obter as localizações dos campos (disponíveis no portal da OCHA). Nos casos em que não foi possível encontrar a informação, as coordenadas adicionais foram obtidas através dos arquivos *IDP Camp Profile*, publicados pela REACH e CCCM (*Camp Coordination and Camp Management*). Assim foi possível obter as coordenadas dos campos Laylan, Debaga, Hamam Alil, Al-Alam. O campo denominado Samarra não possuía registro de coordenadas, então foi realizada uma aproximação para as coordenadas da própria cidade.

No caso de dois campos em que não foi possível identificar a localização exata, foi observado que não aparecem frequentemente nos relatórios e jamais apresentaram ocupação, sendo então desconsiderados para análises. São os campos South Haj Ali e Guwayr.

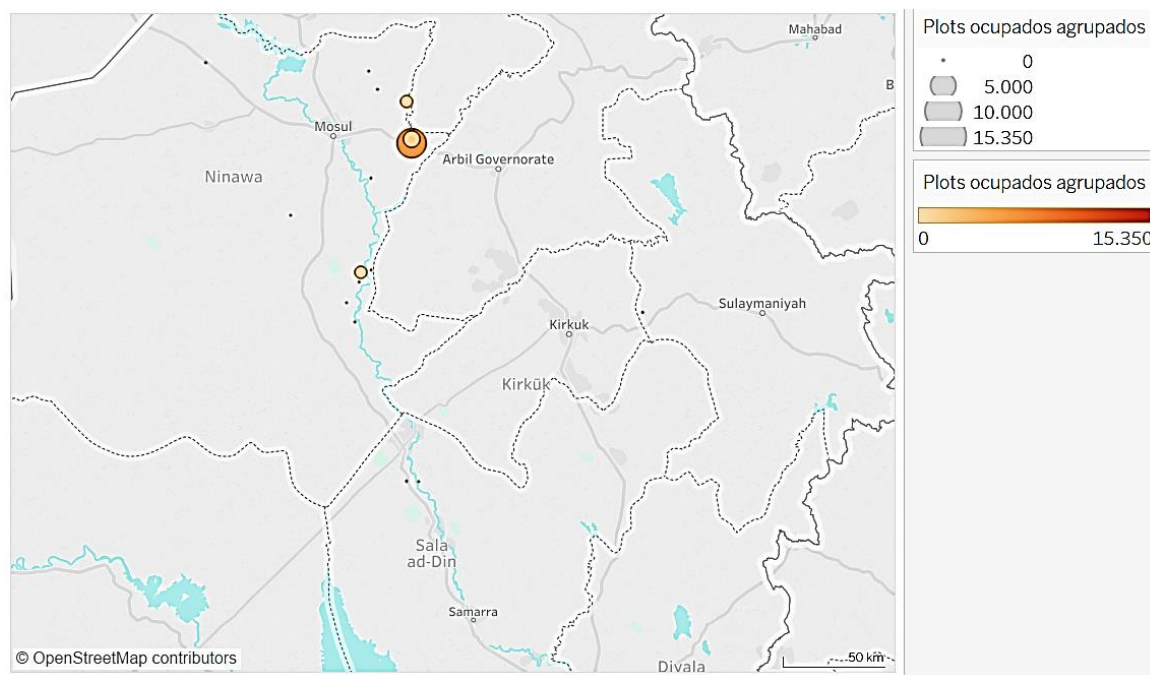
Sete agências foram responsáveis pelos campos e, em alguns casos, juntaram-se para gerenciar em conjunto, são elas:

- UNHCR: Alto Comissariado das Nações Unidas para os Refugiados
- UNDP: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

- MODM: Ministério de Migração e Desenvolvimento do Iraque
- Kuwait: Governo do Kuwait
- IKL: Liga Islâmica Curda
- IOM: Organização Internacional para as Migrações das Nações Unidas
- N.Gov: Governo de Ninawa, província do Iraque

As primeiras ocupações dos campos foram registradas em 25 de outubro de 2016. Desde então, são formados três focos de ocupação: Qayyarah Jad'ah ao sul, e a leste Zelikan e Hasansham sentido Erbil, conforme ilustrado pela Figura 17.

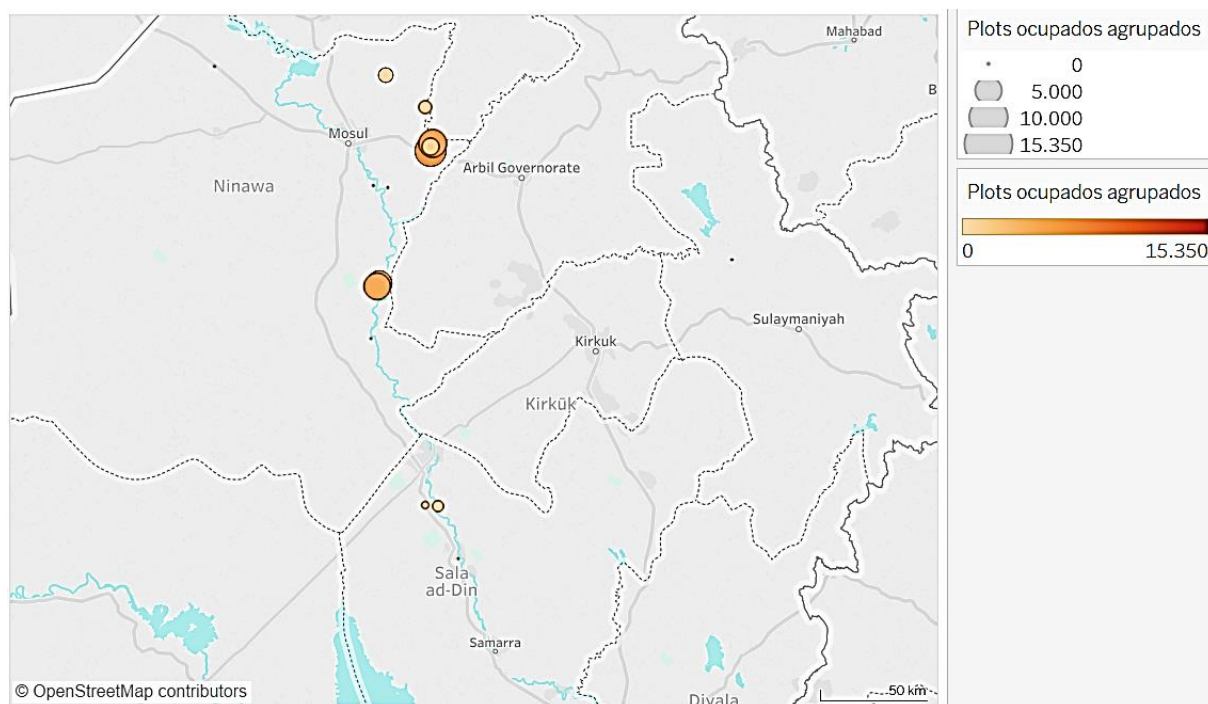
Figura 17 - Situação de campos ocupados em novembro de 2016



Fonte: Elaborado pelo autor com o *software Tableau*

Em meados de dezembro é iniciado outro foco de ocupação em Al-Alam, ao sul de Mossul sentido Salah ad-Din. No início de janeiro, é iniciada a ocupação em Narziglia, ao norte de Mossul. A Figura 18 indica a situação dos campos em 26 de janeiro de 2017.

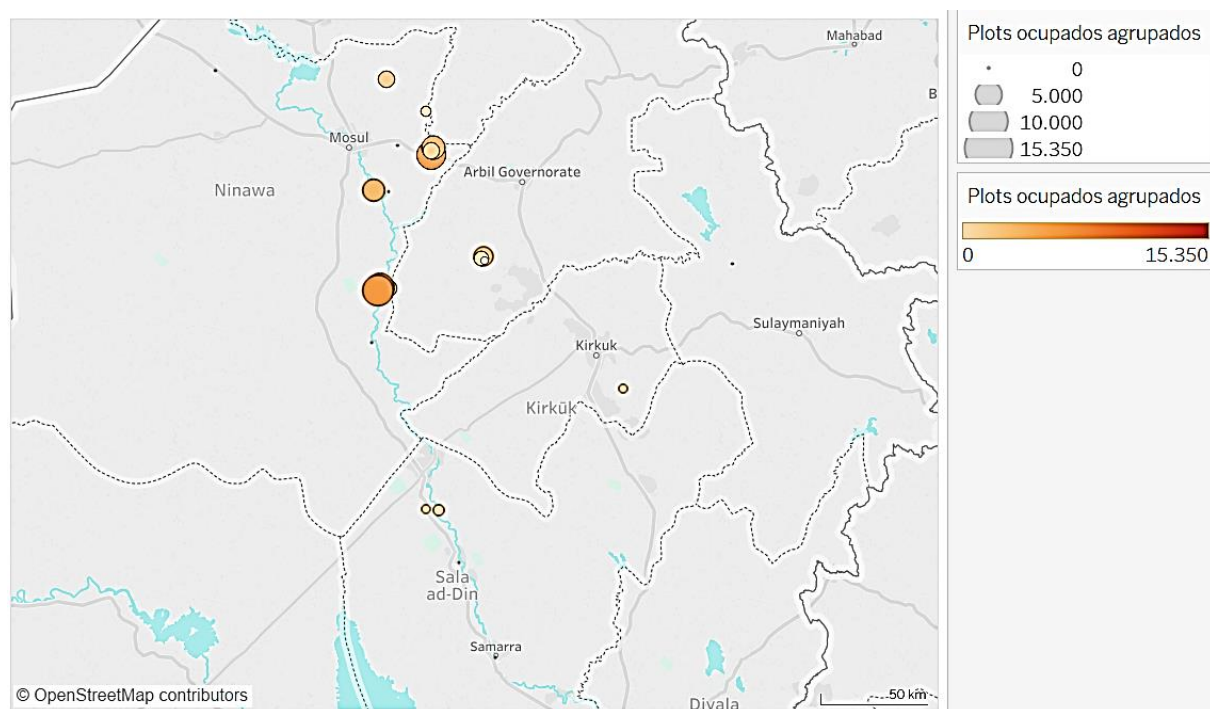
Figura 18 - Situação de campos ocupados em janeiro de 2017



Fonte: Elaborado pelo autor com o *software Tableau*

Em 15 de fevereiro, surge um novo foco de ocupação sentido Kirkuk (Debaga e Laylan). No início de março, surge um foco mais próximo a Mossul, Hammam Al Alil, ao sul da cidade, conforme ilustrado pela Figura 19.

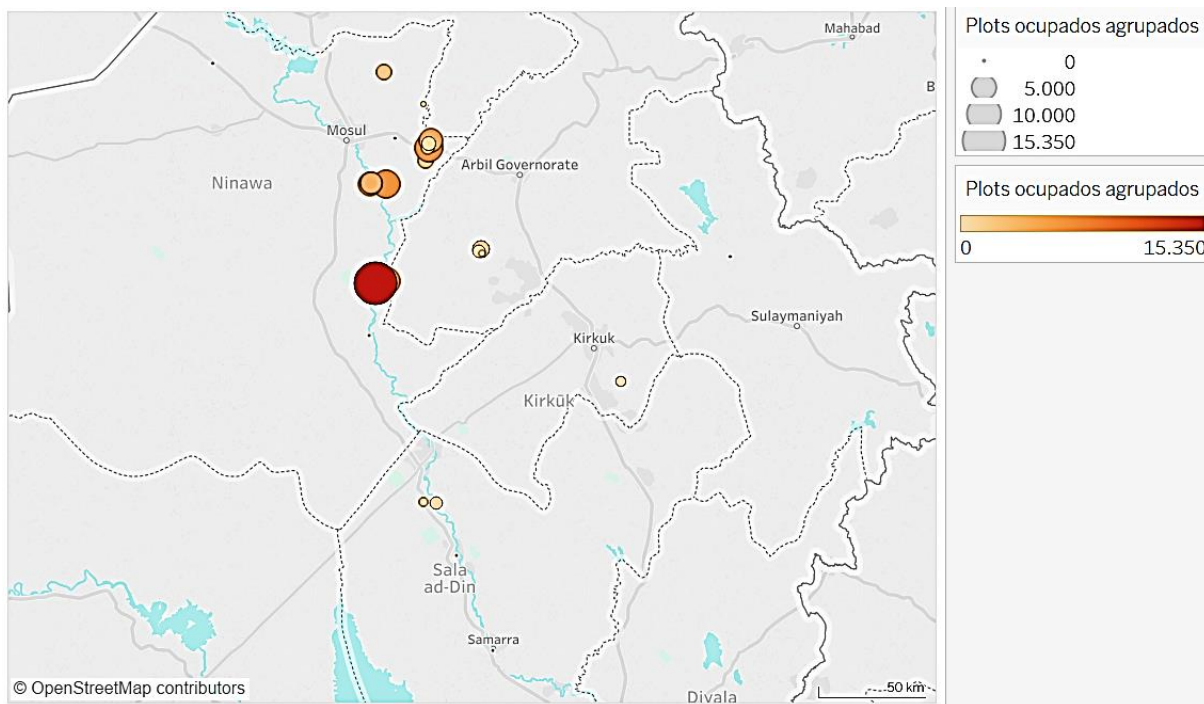
Figura 19 - Situação de campos ocupados em março de 2017



Fonte: Elaborado pelo autor com o *software Tableau*

Nas datas seguintes, as ocupações são intensificadas, porém sempre concentradas nos focos indicados anteriormente. A ocupação final em julho pode ser observada pela Figura 20, período em que a retomada se encerra.

Figura 20 - Situação de campos ocupados em julho de 2017



Fonte: Elaborado pelo autor com o *software Tableau*

Observando os resultados mensais (considerando o máximo alcançado no mês), foi possível construir gráficos de ocupação, *plots* disponíveis e planejados separados por *clusters* e também consolidados.

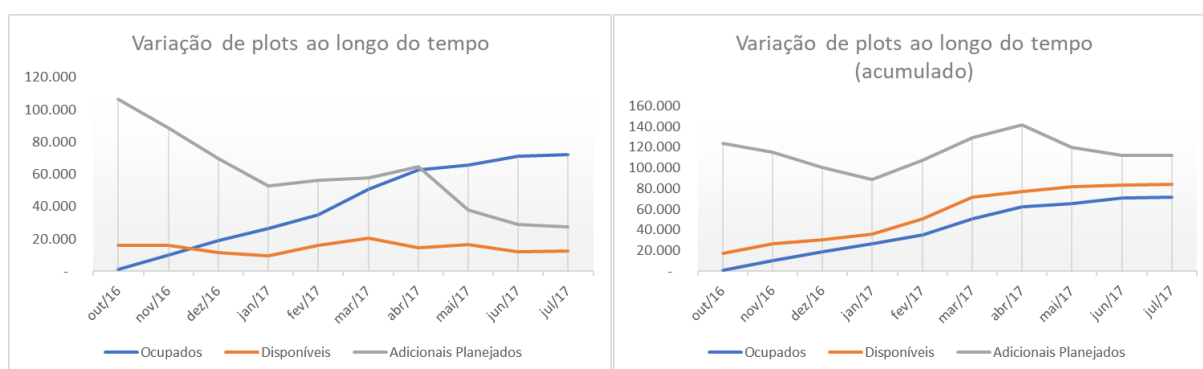
Como não foram encontrados comportamentos altamente peculiares dentro dos *clusters*, foi estabelecido que seriam escolhidos alguns períodos de tempo com características similares para a análise do modelo. O gráfico acumulado de *plots* totais ocupados, disponíveis e adicionais planejados, apresentado na Figura 21, indicou a possibilidade de separação de três momentos para análise.

O primeiro teria início em outubro e se encerraria em dezembro, momento no qual as ocupações cresceram em alto ritmo e a margem de *plots* planejados é inicialmente superior a outros momentos, decrescendo gradualmente.

O segundo momento se estende de janeiro a abril, onde os níveis de ocupação aumentam, porém, os planejados adicionais atingem certa estabilidade, com um leve crescimento ao fim do período.

Por fim, há um momento de maio a julho, no qual a ocupação apresenta uma redução do crescimento. É possível perceber que a quantidade de campos adicionais planejados decai significativamente, possivelmente em função da expectativa de retorno das famílias às suas casas ou outras instalações.

Figura 21 - Gráficos de número de *plots* mensais ao longo do tempo (regular e acumulado)



Fonte: Adaptado de OCHA (2017)

3.3 MODELO MATEMÁTICO

Para fins de comparação entre a política de distribuição de suprimentos que foi adotada e as políticas alternativas sugeridas, foi necessária a separação em dois modelos matemáticos diferentes. O primeiro deles representa a escolha de localização de armazéns conforme os cenários *cluster* e *hard roof*. Já o modelo para o cenário MSU pode ser entendido como uma simplificação do primeiro, uma vez que, obrigatoriamente, cada campo que possuir *plots* terá na mesma localização um conjunto de MSU. A Tabela 3 determina os modelos e as adaptações necessárias para cada cenário.

Tabela 3 - Cenários e adaptações do modelo necessárias

Cenário	Descrição	Modelo
Cenário <i>cluster</i> e <i>hard roof</i>	Escolha de instalações tanto do tipo <i>cluster</i> quanto <i>hard roof</i> , determinando local e capacidade	Modelo inicial, considerando todas as opções de instalações dos tipos <i>cluster</i> e <i>hard roof</i>
Cenário MSU	Escolha de instalações do tipo MSU, determinando a capacidade (local é função da demanda)	Simplificação do modelo do cenário <i>cluster</i> e <i>hard roof</i> , na qual os locais de instalações equivalem aos dos campos
Cenário <i>cluster</i>	Escolha de instalações do tipo <i>cluster</i> , determinando local e capacidade	Modelo do cenário <i>cluster</i> e <i>hard roof</i> , com a capacidade das opções de <i>hard roof</i> nulas
Cenário <i>hard roof</i>	Escolha de instalações do tipo <i>hard roof</i> , determinando local e capacidade	Modelo do cenário <i>cluster</i> e <i>hard roof</i> , com a capacidade das opções de <i>cluster</i> nulas

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.1 Cenário *cluster* e *hard roof*

Para o modelo, foram adotados os índices:

- c denota os *hubs* de origem
- i denota os campos a serem supridos com a demanda
- j denota os lugares para a instalação dos armazéns intermediários, dos quais 0 a 5 são *hard roofs* e 6 a 23 são MSU em *clusters*
- k são os tipos de instalações, sendo as opções de 1 a 6 modalidades de MSU e 7 a 11 opções de *hard roofs*. O índice k igual a 0 indica que não foi localizada uma instalação

Os parâmetros, por sua vez, são:

- a_{kj} é a matriz que identifica as possibilidades de instalações k para cada local j
- t_{ij} denota o tempo médio de viagem entre o local j e o campo i
- $thub_{jc}$ denota o tempo médio de viagem entre o *hub* c e o local j
- $tmáx$ denota o máximo tempo médio de viagem
- u_{ij} denota se no arco entre o local j e o campo i há um ponto de gargalo
- $uhub_{jc}$ denota se no arco entre o *hub* c e o local j há um ponto de gargalo
- $umáx$ denota o máximo de pontos de gargalo
- $plots_i$ é o número de *plots* por campo

- f_k é o custo fixo correspondente a cada instalação do tipo k
- cap_k é a capacidade de movimentação para cada instalação do tipo k
- q indica o peso do *kit* transportado para um *plot*
- p_{ij} indica o frete entre a instalação j e o campo i
- $phub_{jc}$ indica o frete entre o *hub* c e o local j
- fs indica o fator de segurança associado ao estoque de segurança
- $ok_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o campo } i \text{ pode ser atendido pelo local } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

As variáveis de decisão que o modelo deve considerar são:

- $Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o campo } i \text{ é suprido pelo local } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $X_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{se uma instalação do tipo } k \text{ é aberta no local } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $W_{jc} = \begin{cases} 1, & \text{se a instalação } j \text{ é suprida pelo hub } c \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- QTD_{jc} indica a quantidade que é transportada do *hub* c ao local j

Assim, a função objetivo é:

$$MIN \sum_i \sum_j 6 \cdot plots_i \cdot fs \cdot q \cdot Y_{ij} \cdot p_{ij} + \sum_j \sum_k c_k X_{kj} + \sum_j \sum_c 6 \cdot QTD_{jc} \cdot phub_{jc} \cdot q \cdot W_{jc} \quad (28)$$

Estando o modelo sujeito às restrições:

$$\sum_j Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \forall i \mid plots_i > 0 \\ 0, & \forall i \mid plots_i = 0 \end{cases} \quad (29)$$

$$\sum_c W_{jc} - \sum_{k \neq 0} X_{kj} a_{kj} = 0 \quad \forall j \quad (30)$$

$$\sum_k X_{kj} a_{kj} = 1 \quad \forall j \quad (31)$$

$$Y_{ij} - \sum_{k \neq 0} X_{kj} a_{kj} \leq 0 \quad \forall i, j \quad (32)$$

$$QTD_{jc} - M \cdot W_{jc} \leq 0 \quad \forall j, c \quad (33)$$

$$\sum_i plots_i . fs . q . Y_{ij} - \sum_k X_{kj} . a_{kj} . c_k \leq 0 \quad \forall j \quad (34)$$

$$\sum_c QTD_{jc} - \sum_i plots_i . fs . Y_{ij} = 0 \quad \forall j \quad (35)$$

$$Y_{ij} - ok_{ij} \leq 0 \quad \forall i, j \quad (36)$$

$$\frac{\sum_i \sum_j plots_i . fs . Y_{ij} . u_{ij}}{\sum_i plots_i . fs} + \frac{\sum_j \sum_c QTD_{jc} . uhub_{jc} . W_{jc}}{\sum_i plots_i . fs} \leq umáx \quad (37)$$

$$\frac{\sum_i \sum_j plots_i . fs . Y_{ij} . t_{ij}}{\sum_i plots_i . fs} + \frac{\sum_j \sum_c QTD_{jc} . thub_{jc} . W_{jc}}{\sum_i plots_i . fs} \leq tmáx \quad (38)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (39)$$

$$Y_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j \quad (40)$$

$$W_{jc} = 0, 1 \quad \forall j, c \quad (41)$$

A função objetivo representada pela eq.28 considera o valor do custo semestral, composto pelos gastos de frete da instalação aos campos e do *hub* às instalações. Além disso, há uma parcela de custos fixos associados aos tipos de instalações que serão abertas.

A condição representada pela eq.29 garante que cada campo *i* tenha apenas uma instalação em local *j* para suprir sua demanda. A condição da eq.30, analogamente, garante que cada instalação seja alimentada por apenas um *hub*.

A eq.31 implica que cada instalação *j* deve ter apenas um dos tipos de instalação *k*, sendo essa instalação possível para aquele local.

A eq.32 garante que um campo *i* seja abastecido por um local *j* apenas se o local *j* tiver uma instalação aberta e esse tipo de instalação seja possível para o local. A eq.33 indica que apenas haverá uma quantidade transportada entre um *hub* *c* e uma instalação *j*, caso aquele *hub* seja o responsável pelo abastecimento daquela instalação *j*.

A eq.34 indica que a soma da demanda em peso, que é atendida por *j* para os campos *i* deve ser menor ou igual à capacidade de movimentação de cada tipo de instalação *k*.

A eq.35 garante que o fluxo de entrada no local *j* deve ser igual à soma da quantidade que é enviada para campos.

A eq.36 garante que só haja fluxo entre i e j , caso j possa atender a i . A condição garante que um MSU de um *cluster* não seja capaz de abastecer um campo fora do seu domínio.

A eq.37, por sua vez, traz uma restrição acerca do número de rotas contendo pontos de gargalo, ponderados por carga transportada, seja do trajeto do *hub* à instalação como da instalação ao destino final.

A eq.38 restringe o tempo médio gasto ponderado pela quantidade de carga transportada.

3.3.2 Cenário MSU

Para a modelagem do cenário MSU, os índices foram adaptados:

- c denota os *hubs* de origem
- i denota os campos a serem supridos com a demanda
- j denota os lugares para a instalação dos armazéns intermediários, junto a cada campo i
- k são os tipos de instalações, sendo as opções de 1 a 6 modalidades de MSU e 0 a possibilidade de não abertura do armazém

Da mesma forma, os parâmetros foram adaptados:

- a_{kj} é a matriz que identifica as possibilidades de instalações k para cada local j . Nesse caso, todas as combinações entre instalações e locais são possíveis (MSU ou não utilização) e o fator a_{kj} pode ser considerado com valor unitário
- t_{ij} denota o tempo médio de viagem entre o local j e o campo i , que passa a ser nulo dado que o campo j está localizado em i
- $thub_{jc}$ denota o tempo médio de viagem entre o *hub* c e o local j
- $tmáx$ denota o máximo tempo médio de viagem
- u_{ij} denota se no arco entre o local j e o campo i há um ponto de gargalo, que passa a ser nulo dado que o campo j está localizado em i
- $uhub_{jc}$ denota se no arco entre o *hub* c e o local j há um ponto de gargalo

- $um\acute{a}x$ denota o máximo de pontos de gargalo
- $plots_i$  o número de $plots$ por campo
- f_k  o custo fixo correspondente a cada instalação do tipo k
- cap_k  a capacidade de movimento para cada instalação do tipo k
- q indica o peso do kit transportado para um $plot$
- p_{ij} indica o frete entre a instalação j e o campo i , que passa a ser nulo dado que o campo j está localizado em i
- $phub_{jc}$ indica o frete entre o hub c e o local j
- fs indica o fator de segurança associado ao estoque de segurança
- $ok_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o campo } i \text{ pode ser atendido pelo local } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$, no caso do cenário MSU, o campo i pode ser atendido pelo local j se, e somente se, $i = j$.

As variáveis de decisão permanecem conforme o modelo anterior:

- $Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o campo } i \text{ é suprido pelo local } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $X_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{se uma instalação do tipo } k \text{ é aberta no local } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $W_{jc} = \begin{cases} 1, & \text{se a instalação } j \text{ é suprida pelo hub } c \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- QTD_{jc} indica a quantidade que é transportada do hub c ao local j

Assim, a função objetivo passa a desconsiderar a parcela de frete entre o campo i e o local j , dado que ele passa a ser nulo:

$$MIN \sum_j \sum_k c_k X_{kj} + \sum_j \sum_c 6. QTD_{jc} \cdot phub_{jc} \cdot q \cdot W_{jc} \quad (42)$$

O modelo está sujeito às restrições:

$$\sum_j Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \forall i \mid plots_i > 0 \\ 0, & \forall i \mid plots_i = 0 \end{cases} \quad (43)$$

$$\sum_c W_{jc} - \sum_{k \neq 0} X_{kj} = 0 \quad \forall j \quad (44)$$

$$\sum_k X_{kj} = 1 \quad \forall j \quad (45)$$

$$Y_{ij} - \sum_{k \neq 0} X_{kj} \leq 0 \quad \forall i, j \quad (46)$$

$$QTD_{jc} - M \cdot W_{jc} \leq 0 \quad \forall j, c \quad (47)$$

$$\sum_i plots_i \cdot fs \cdot q \cdot Y_{ij} - \sum_k X_{kj} \cdot c_k \leq 0 \quad \forall j \quad (48)$$

$$\sum_c QTD_{jc} - \sum_i plots_i \cdot fs \cdot Y_{ij} = 0 \quad \forall j \quad (49)$$

$$Y_{ij} - ok_{ij} \leq 0 \quad \forall i, j \quad (50)$$

Logo, é possível eliminar a primeira parcela das restrições expressas nas eqs.37 e 38, visto que o número de pontos de gargalo e o tempo gasto entre a instalação j e o local i são nulos para o terceiro cenário.

$$\frac{\sum_j \sum_c QTD_{jc} \cdot uh_{jc} \cdot W_{jc}}{\sum_i plots_i \cdot fs} \leq umáx \quad (51)$$

$$\frac{\sum_j \sum_c QTD_{jc} \cdot th_{jc} \cdot W_{jc}}{\sum_i plots_i \cdot fs} \leq tmáx \quad (52)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (53)$$

$$Y_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j \quad (54)$$

$$W_{jc} = 0, 1 \quad \forall j, c \quad (55)$$

3.4 OBTENÇÃO DE PARÂMETROS

Os *hubs* disponíveis para a distribuição de suprimentos estão localizados em três cidades, cada qual com seu índice correspondente c , conforme a Tabela 4:

Tabela 4 - Índice dos depósitos *hub*

Índice c	Depósitos
0	Erbil
1	Tikrit
2	Dohuk

Fonte: Elaborado pelo autor

As instalações, de índice j foram divididas entre os tipos de armazém *cluster* e *hard roof*. Seis localizações foram escolhidas para colocação de armazéns, conforme a possibilidade de aproveitamento de infraestrutura e disponibilidade de mão de obra. As cidades candidatas estão a uma distância inferior a 230 km da cidade de Mossul, segundo o Google Maps, serviço de pesquisa e visualização de mapas, além de

possuir uma população superior a 40 mil habitantes, segundo o *World Population Review* (2018). Já a localização dos *clusters* foi feita de forma a concentrar a demanda nos pontos de maior ocupação em momentos iniciais. A relação dos índices j é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Índices de locais para instalação

Índice j	Local	Tipo de armazém
0	Erbil	<i>Hard Roof</i>
1	Dohuk	<i>Hard Roof</i>
2	Zakho	<i>Hard Roof</i>
3	Kirkuk	<i>Hard Roof</i>
4	Al-Hamdaniya	<i>Hard Roof</i>
5	Tikrit	<i>Hard Roof</i>
6	Chamchamal	<i>Cluster</i>
7	Hasansham	<i>Cluster</i>
8	Al-Alam	<i>Cluster</i>
9	Qayyarah	<i>Cluster</i>
10	Zelikan	<i>Cluster</i>
11	Narziglia	<i>Cluster</i>
12	Hammam	<i>Cluster</i>
13	Debaga	<i>Cluster</i>
14	Laylan	<i>Cluster</i>
15	Suradesh	<i>Cluster</i>
16	Al Bweyer	<i>Cluster</i>
17	North Flifal	<i>Cluster</i>
18	Amalla	<i>Cluster</i>
19	Samarra	<i>Cluster</i>
20	Al Sh'hamah	<i>Cluster</i>
21	Hammam B	<i>Cluster</i>
22	Hammam C	<i>Cluster</i>
23	Hasansham B	<i>Cluster</i>

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da observação das quantidades máximas de *plots* planejados totais, foi possível sugerir diversas opções e capacidades de armazéns, tanto *hard roofs* (HR) quanto MSU de *clusters*. Conforme a Tabela 6, os índices de 1 a 6 indicam as possibilidades de agrupamento de MSU, enquanto os índices de 7 a 10 apresentam diversos tamanhos de armazéns *hard roof*. Dessa forma, a matriz a_{kj} possui valor unitário quando os tipos de instalação são compatíveis com os tipos de armazém do local j . No caso da não localização (índice k é 0), a_{kj} é unitário para todos os valores de j , ou seja, qualquer local pode não ser escolhido. Assim, a eq.56 apresenta os valores da matriz a_{kj} .

Tabela 6 - Índices de tipos de instalações

Índice k	Tipo de instalação	Descrição
0	-	Não é localizada uma instalação no local
1	1 MSU	É localizado um conjunto de 1 MSU no local
2	3 MSU	É localizado um conjunto de 3 MSU no local
3	6 MSU	É localizado um conjunto de 6 MSU no local
4	10 MSU	É localizado um conjunto de 10 MSU no local
5	15 MSU	É localizado um conjunto de 15 MSU no local
6	21 MSU	É localizado um conjunto de 21 MSU no local
7	HR 500	É localizado um armazém com capacidade de 500m ²
8	HR 1000	É localizado um armazém com capacidade de 1000m ²
9	HR 1500	É localizado um armazém com capacidade de 1500m ²
10	HR 2000	É localizado um armazém com capacidade de 2000m ²
11	HR 3000	É localizado um armazém com capacidade de 3000m ²

Fonte: Elaborado pelo autor

$$a_{kj} = \begin{cases} 1, se k = 0 \\ 1, se j \in \{0; 5\} e k \in \{7; 11\} \\ 1, se j \in \{6; 23\} e k \in \{1; 6\} \\ 0, caso contrário \end{cases} \quad (56)$$

Para cada tipo de instalação, foi estimado o custo associado a partir de informações de especialista em logística humanitária⁷ (informação pessoal), separado em custo de instalação (aquisição de MSU, nivelamento e preparação de terreno, aquisição de equipamentos e mobília) e o custo mensal fixo, incluindo gastos de mão de obra, aluguel (no caso de *hard roof*). Os custos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Custos de instalações

Instalação	Custo abertura (U\$)	Custo mensal (U\$/mês)	Total semestre (U\$/semestre)
1 MSU	13.174	26.775	173.824
3 MSU	20.611	28.375	190.861
6 MSU	30.307	40.510	273.367
10 MSU	44.243	45.390	316.583
15 MSU	60.438	56.185	397.548
21 MSU	76.973	63.505	458.003
HR 500	6.000	31.580	195.480
HR 1000	6.000	33.950	209.700
HR 1500	6.000	44.035	270.210
HR 2000	6.000	49.805	304.830
HR 3000	6.000	55.765	340.590

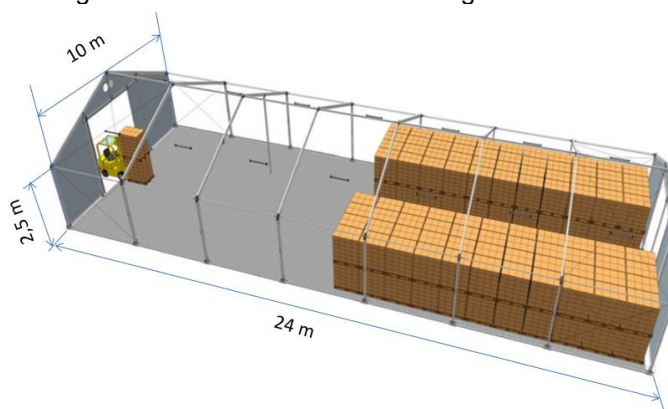
Fonte: Adaptado de Costa⁸ (2016, informação pessoal)

⁷ Informação fornecida por COSTA, O. A. F. durante reunião realizada no CISLOG em agosto de 2017.

⁸ COSTA, O. A. F. Custos de armazenagem. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <filipeaacio@gmail.com> em 24 out. 2017.

Para definir a capacidade de movimentação de suprimentos do MSU, foi necessário determinar a capacidade de armazenagem da estrutura, ilustrada pela Figura 22. Conforme o *Logistics Cluster* (2015), apenas 70% da área do MSU pode ser utilizada para armazenagem, sendo o restante do espaço reservado para passagem, manuseio, separação de pacotes e ventilação. Além disso, há a recomendação de evitar empilhamentos acima de 2,5 m, como forma de prevenção de danos aos produtos e risco de tombamento, dado que não há estrutura porta-paletes. Outra restrição é a recomendação de espaço de 1 metro entre o topo da carga e o teto do local.

Figura 22 - Estrutura de armazenagem de MSU



Fonte: Adaptado de NRS Relief (2017)

Conforme a Tabela 8, a capacidade de armazenagem do MSU foi obtida pelo cálculo do volume útil dividido pela densidade média dos componentes do *kit*, adaptado de *Logistics Cluster* (2015). O giro do estoque acontece em grande frequência tendo em vista as características emergenciais da operação.

Tabela 8 - Cálculo da capacidade de movimentação de MSU

Medida	Valor
Comprimento MSU (m)	10
Largura MSU (m)	24
Altura MSU (m)	3,5
Altura de armazenagem MSU (m)	2,5
Área disponível para armazenagem (%)	70%
Volume MSU (m³)	600
Volume de armazenagem MSU (m³)	420
Densidade média do <i>kit</i> (t/m³)	0,325
Capacidade de armazenagem (t)	136,67
Giro do estoque no mês	3
Capacidade de movimentação (t/mês)	410

Fonte: Adaptado de *Logistics Cluster* (2015)

Dessa forma, é possível estimar a capacidade de movimentação em toneladas por mês das alternativas de MSU propostas, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Capacidade de movimentação por número de MSU

Tipo de instalação	1 MSU	3 MSU	6 MSU	10 MSU	15 MSU	21 MSU
Capacidade de movimentação (t/mês)	410	1.230	2.460	4.100	6.150	8.610

Fonte: Elaborado pelo autor

Para o dimensionamento e cálculo de capacidade do armazém *hard roof*, foi necessária a separação dos produtos conforme a armazenagem blocada de piso e não blocada (em porta-paletes). No caso da armazenagem blocada, são consolidados produtos que não necessitam de porta-paletes, podendo ser empilhados em certa quantidade sem necessidade de acesso direto a todas as posições, ideal para itens ensacados (como alimentos) ou de alta movimentação, como é o caso da demanda de *kits* de ajuda emergencial.

No caso de uma movimentação de 2.500 t/mês, com um giro alto característico de operações humanitárias, estimou-se uma capacidade de 1.000 toneladas para uma das opções de armazém. Sendo a massa de um *kit* aproximadamente 109 kg, o armazém precisaria ter capacidade para o equivalente a 9.137 *kits*, cerca de seis vezes mais do que o MSU. A Tabela 10 resume os passos do cálculo da área.

Tabela 10 - Cálculo de área de *hard roof*

Medida	Não blocados	Blocados
Número de <i>kits</i>	9137	9137
Peso parcela do <i>kit</i> (kg)	28,8	80,7
Volume por peso (m ³ /t)	4	2
Volume do <i>kit</i> (m ³)	0,115	0,161
Dimensões palete	1x1,2x1	1x1,20x1,45
Volume palete	1,2	1,74
<i>Kits</i> /palete	10,42	10,78
Número de paletes	877	847
Paletes/módulo	20	3
Número de módulos	44	283

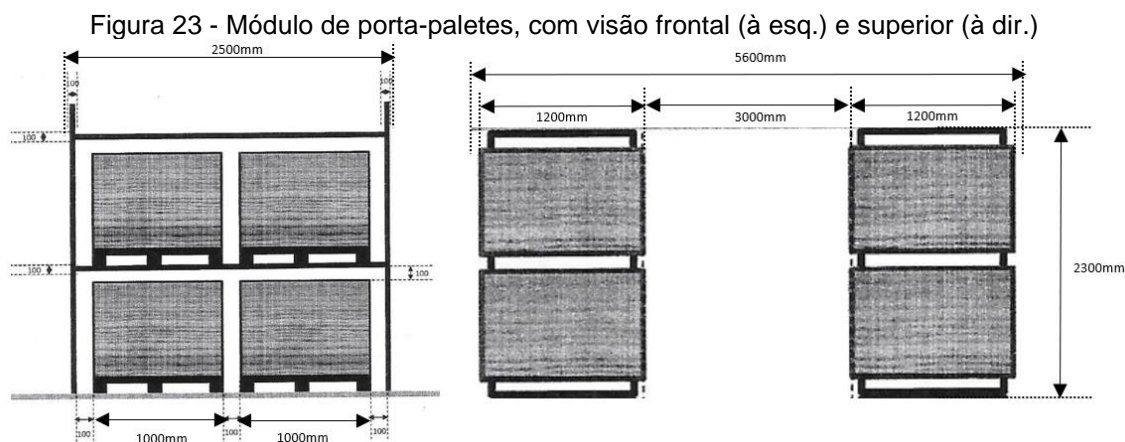
Fonte: Elaborado pelo autor

Cada parcela do *kit* tem uma proporção em peso, sendo que os itens não blocados ocupam um volume maior do que aqueles blocados (em geral em sacas). O palete blocado não precisa obedecer à altura de um porta-paletes, mas, segundo recomendações de produtos similares (Rosalito, 2014), a altura recomendada é de 1,45 m, podendo ser empilhado em até três níveis. Segundo o catálogo de produtos

padrão da Cruz Vermelha, um dos padrões de palete utilizado é de 1x1,2 m. Ao calcular o número aproximado de *kits* que caberia em um palete, é possível saber quantos módulos serão necessários.

No caso da armazenagem blocada, um módulo seria equivalente à área de um palete, com seus três níveis de empilhamento, totalizando uma altura máxima de 4,35 m. O módulo tem área, portanto, de 1,20 m², de lados 1x1,2 m. Para 283 módulos, seria possível organizá-los em 41 fileiras de 7 módulos de profundidade, chegando em dimensões úteis de 49,2 m por 7 m.

Já para a armazenagem em porta-paletes, um módulo é composto por quatro paletes na base, com 5 níveis, totalizando 20 paletes. Nesse módulo é incluso um corredor para movimentação de 3 m. Dessa forma, o módulo possui medidas de 2,5 m por 5,6 m, conforme a Figura 23. Para alocar os 44 módulos, é possível usar uma disposição de 9 x 5 módulos, totalizando medidas de 50,4 por 12,5 m.



Fonte: Adaptado de Francischini (2016)

Dessa forma, é possível estimar, de maneira aproximada, que a área necessária para a armazenagem de itens não bloqueados é de 630 m² e, para bloqueados, 344 m². Uma disposição possível seria de 51 m x 20 m, totalizando valor de área próxima a 1.000 m² disponível para armazenagem, valor que não considera outras áreas de suporte, como banheiros, escritórios, docas, entre outros.

Usando a aproximação, foi possível estimar as capacidades para os outros tipos de instalação *hard roof*, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Capacidade de movimentação de *hard roof*

Tipo de instalação	HR 500	HR 1000	HR 1500	HR 2000	HR 3000
Movimentação (t/mês)	1250	2500	3750	5000	7500

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir de dados sobre o frete com diversos tipos de caminhões entre cidades iraquianas em função da distância⁹ (informação pessoal), foi possível estabelecer uma tabela de preço de frete por tonelada para cada tipo de caminhão na Tabela 12.

Tabela 12 - Frete por tonelada em função da distância

Distância (km)	2MT (U\$/ton)	4MT (U\$/ton)	8MT (U\$/ton)	10MT (U\$/ton)	20MT (U\$/ton)
0 até 12	25	15	12,5	10	7,5
12 até 60	37,5	25	18,75	15	9
60 até 66	50	25	25	20	12,5
66 até 110	60	37,5	31,25	25	15
110 até 180	75	43,75	31,25	25	19
180 até 200	100	75	37,5	30	20
Acima de 200	150	100	60	48	32

Fonte: Adaptado de Costa¹⁰ (2016, informação pessoal)

Para deslocamentos entre *hub* e instalações, foi escolhida a modalidade de frete para o caminhão de 10 toneladas. Já entre instalações e campos, foi adotado o frete do caminhão de 4 toneladas, com menor capacidade. No caso do cenário MSU, como cada campo recebe uma carga distinta, também é adotado o frete do caminhão de 4 toneladas.

Para cada arco de deslocamento, seja de *hub* à instalação ou da instalação aos campos, foi determinado, através do Google Maps, a distância entre os pontos pelo melhor trajeto, além da existência de ponto de gargalo, conforme a eq.57.

$$u_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se houver um ponto de gargalo no arco } ij \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (57)$$

Conforme é possível observar na Tabela 13, que retrata exemplos de parâmetros para o *cluster* de Qayyarah, o campo Qayyarah Jad'ah_MODM possui distância e frete nulos, dado que o *cluster* se concentra em sua localização. O tempo de deslocamento

⁹ COSTA, O. A. F. Custos de transporte. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <filipeaacio@gmail.com> em 24 out. 2017.

¹⁰ COSTA, O. A. F. Custos de transporte. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <filipeaacio@gmail.com> em 24 out. 2017.

foi calculado pela razão da distância em km pela velocidade média. O valor de velocidade média de deslocamento utilizado foi de 40 km/h para os trechos de instalações até os campos, em função de trechos com pouca pavimentação e uma velocidade de 50 km/h para o trecho de um *hub* até as instalações.

Tabela 13 - Exemplo de parâmetros para o *cluster* Qayyarah

Cluster	Campo	Dist. (km)	Pontos gargalo	2MT (\$/t)	4MT (\$/t)	8MT (\$/t)	10MT (\$/t)	20MT (\$/t)
QAYYARAH	Basateen Al Sheuokh_UNDP	28,5	0	37,5	25	18,8	15	9
QAYYARAH	Dawajin_IOM	17,9	0	37,5	25	18,8	15	9
QAYYARAH	Wadi Murr_MODM	6,5	0	25	15	12,5	10	7,5
QAYYARAH	Qayyarah Bridge_MODM	4,6	0	25	15	12,5	10	7,5
QAYYARAH	Qayyarah (NE of Q.)_MODM	15,2	0	37,5	25	18,8	15	9
QAYYARAH	Qayyarah (Warehouse)_MODM	24,2	0	37,5	25	18,8	15	9
QAYYARAH	Dawajin_	17,9	0	37,5	25	18,8	15	9
QAYYARAH	Dawajin_tbc	17,9	0	37,5	25	18,8	15	9
QAYYARAH	Qayyarah Bridge_tbc	4,6	0	25	15	12,5	10	7,5
QAYYARAH	Wadi Murr_tbc	6,5	0	25	15	12,5	10	7,5
QAYYARAH	Wadi Murr_IOM	6,5	0	25	15	12,5	10	7,5
QAYYARAH	Basateen Al Sheuokh_MODM	28,5	0	37,5	25	18,8	15	9
QAYYARAH	Qayyarah Jad'ah_MODM	0	0	-	-	-	-	-
QAYYARAH	Qayyarah Airstrip_IOM	3,2	0	25	15	12,5	10	7,5
QAYYARAH	Haj Ali_IOM	12,7	0	37,5	25	18,8	15	9

Fonte: Elaborado pelo autor

O fator de segurança representa a quantidade necessária além da demanda esperada para fins de estoque de segurança, expectativa de aumento de demanda e perdas e roubos, para que não haja falta em caso de atrasos ou outros imprevistos. No caso, o custo de falta é extremamente alto, uma vez que lida com necessidades básicas das pessoas que estão nos campos. Considerando a frequência de abastecimento dos campos para o cenário MSU, seria necessário um estoque de aproximadamente 30% da demanda mensal para conseguir aguardar até o abastecimento seguinte, implicando no uso de um fator de segurança de 1,3. Para o cenário *cluster*, haveria um abastecimento mais frequente, sendo que o estoque para atender à demanda no período seria de 20% do estoque mensal, portanto com o fator de segurança de 1,2.

O valor limite de pontos de gargalo médio e o tempo máximo de viagem na média serão obtidos experimentalmente através dos resultados observados pelo modelo, após diversas iterações.

Para contrastar a expectativa da demanda por abrigos com a ocupação que de fato ocorreu, serão analisados os dados de *plots* ocupados e comparados os resultados com o total planejado, obtido pela soma dos *plots* ocupados, disponíveis e adicionais planejados.

3.5 PROCESSAMENTO DO MODELO

O modelo foi escrito na linguagem de programação *Python*, sendo utilizado o módulo *Gurobi* para otimização. O programa na íntegra pode ser encontrado no apêndice A do presente trabalho. A Figura 24 demonstra o menu do programa, no qual é possível selecionar opções de parâmetros para obtenção de resultados. Os parâmetros de escolha são tipos de dados, período, frete até o campo e até o armazém intermediário, além do valor máximo de pontos de gargalo em média e máximo tempo de viagem médio.

Uma prática importante para a redução de tempo do processamento foi a linearização de diversas matrizes de parâmetros em vetores. Dessa forma, a matriz a_{kj} foi transformada em um vetor unidimensional a_{k*m_q+j} , cujo índice equivalente a (k, j) , passa a ser $(k*m_q+j)$, onde m_q é o comprimento de j – no caso, 24 locais candidatos para localização.

Figura 24 - Menu do programa

```

Academic license - for non-commercial use only
===== Choose type of data =====
1. Planned
2. Occupied
3. Available
4. Total Planned
Option: 2
===== Choose period =====
1. Oct/16
2. Nov/16
3. Dec/16
4. Jan/17
5. Feb/17
6. Mar/17
7. Apr/17
8. May/17
9. Jun/17
10. Jul/17
Option: 2
===== Choose type of freight to camp =====
1. 2 MT
2. 4 MT
3. 8 MT
4. 10 MT
5. 20 MT
Option: 2
===== Choose type of freight to facility =====
1. 2 MT
2. 4 MT
3. 8 MT
4. 10 MT
5. 20 MT
Option: 4
Value of max checkpoints: 0.9
Value of max time: 3

```

Fonte: Elaborado pelo autor com o *software Python*

A Figura 25 ilustra o resultado fornecido pelo programa, demonstrando a quantidade de variáveis, número de linhas e colunas. No caso apresentado na figura, para o cenário misto *cluster* e *hard roof*, são 72 variáveis contínuas e 1.944 variáveis binárias. É apresentada uma solução ótima com uma tolerância de 0,0001, após exploração de 748 nós em 1,17 segundos. Nenhuma das iterações rodadas ultrapassou 2 segundos.

Para melhor compreensão dos resultados, o programa exporta um arquivo de extensão .csv com variáveis não nulas e seus valores, além dos resultados da solução ótima encontrada. A Tabela 14 contém as variáveis de resultado detalhadas.

Figura 25 - Exemplo de resultado do programa

```

Optimize a model with 3402 rows, 2016 columns and 15738 nonzeros
Model has 72 quadratic objective terms
Model has 2 quadratic constraints
Variable types: 72 continuous, 1944 integer (1944 binary)
Coefficient statistics:
  Matrix range      [1e+00, 1e+14]
  QMatrix range     [5e-06, 5e-05]
  QLMatrix range    [2e-04, 1e+03]
  Objective range   [1e+04, 1e+07]
  QObjective range  [1e+01, 6e+01]
  Bounds range      [1e+00, 1e+00]
  RHS range         [1e+00, 1e+00]
  QRHS range        [9e-01, 3e+00]
Warning: Model contains large matrix coefficient range
        Consider reformulating model or setting NumericFocus parameter
        to avoid numerical issues.
Presolve removed 3095 rows and 1682 columns
Presolve time: 0.01s
Presolved: 447 rows, 472 columns, 2553 nonzeros
Variable types: 192 continuous, 280 integer (280 binary)

Root relaxation: objective 3.038159e+06, 148 iterations, 0.08 seconds

Nodes | Current Node | Objective Bounds | Work
Expl Unexpl | Obj Depth IntInf | Incumbent BestBd Gap | It/Node Time
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----
  0    0 3038158.91    0  20      - 3038158.91      -      - 0s
H  0    0      5476451.5033 3038158.91 44.5%      - 0s
H  0    0      5211672.0337 3038158.91 41.7%      - 0s
  0    0 3323734.99    0  76 5211672.03 3323734.99 36.2%      - 0s
  0    0 3326858.18    0  77 5211672.03 3326858.18 36.2%      - 0s
  0    0 3327103.70    0  80 5211672.03 3327103.70 36.2%      - 0s
  0    0 3717400.38    0  23 5211672.03 3717400.38 28.7%      - 0s
  0    0 3717991.09    0  23 5211672.03 3717991.09 28.7%      - 0s
  0    0 3720211.75    0  10 5211672.03 3720211.75 28.6%      - 0s
  0    0 3720211.75    0  12 5211672.03 3720211.75 28.6%      - 0s
  0    0 3720211.75    0  10 5211672.03 3720211.75 28.6%      - 0s
  0    0 3720211.75    0  12 5211672.03 3720211.75 28.6%      - 0s
  0    0 3720211.75    0  13 5211672.03 3720211.75 28.6%      - 0s
  0    0 3720211.75    0  11 5211672.03 3720211.75 28.6%      - 0s
  0    2 3720211.75    0  10 5211672.03 3720211.75 28.6%      - 0s
H  9    10      5070770.4817 3753847.56 26.0% 21.6 0s
H 543   305      4954879.8877 3755178.49 24.2% 11.7 0s
H 728   402      4856453.8207 4724495.09 2.72% 11.6 1s
H 728   382      4779619.9207 4724495.09 1.15% 11.6 1s
H 733   367      4768429.7527 4736489.81 0.67% 11.8 1s
H 745   356      4765474.6027 4762474.06 0.06% 11.6 1s

Cutting planes:
  Gomory: 4
  Clique: 1
  MIR: 4
  Flow cover: 1
  GUB cover: 1

Explored 748 nodes (9254 simplex iterations) in 1.17 seconds
Thread count was 4 (of 4 available processors)

Solution count 8: 4.76547e+06 4.76843e+06 4.77962e+06 ... 5.47645e+06
No other solutions better than 4.76547e+06

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 4.765474602700e+06, best bound 4.765474602700e+06, gap 0.0000%

```

Fonte: Elaborado pelo autor com o software Python

Tabela 14 - Variáveis de resultado do modelo (continua)

Resultado	Descrição	Unidade
<i>campcost</i>	Gasto de frete total de armazéns aos campos em seis meses de operação.	U\$
<i>fixcost</i>	Custo fixo associado às instalações que o modelo escolheu que seriam abertas.	U\$
<i>hubcost</i>	Gasto de frete total de <i>hubs</i> aos armazéns em seis meses de operação.	U\$
<i>totalcost</i>	Soma das parcelas de custo <i>campcost</i> , <i>fixcost</i> , <i>hubcost</i> .	U\$
<i>cpcamp</i>	Quantidade média ponderada pela demanda de rotas de armazéns aos campos com pontos de gargalo.	Pontos de gargalo
<i>cphub</i>	Quantidade média ponderada pela demanda de rotas de <i>hubs</i> aos armazéns com pontos de gargalo.	Pontos de gargalo
<i>cptotal</i>	Soma das parcelas <i>cpcamp</i> e <i>cphub</i> .	Pontos de gargalo

Tabela 14 - Variáveis de resultado do modelo (conclusão)

Resultado	Descrição	Unidade
<i>tcamp</i>	Tempo médio ponderado pela demanda de tempo de viagem em rotas de armazéns aos campos.	Horas
<i>thub</i>	Tempo médio ponderado pela demanda de tempo de viagem em rotas de <i>hubs</i> aos armazéns.	Horas
<i>ttotal</i>	Soma das parcelas <i>thub</i> e <i>tcamp</i> .	Horas

Fonte: Elaborado pelo autor

4 RESULTADOS

O modelo foi processado primeiramente para os diversos períodos e tipos de dados sem as restrições de pontos de gargalo e tempo de viagem, para entender o comportamento sem a imposição desses limites.

Experimentalmente, foi variada a restrição de pontos de gargalo a partir do maior valor encontrado até obtenção do menor valor que permitia soluções factíveis. O valor máximo de pontos de gargalo médio, ponderado pela demanda dessa forma, não deve exceder 0,9. Considerando que há dois trechos de transporte, do *hub* à instalação e dessa até o campo, esse valor equivale a menos de um ponto de gargalo encontrado nos dois trechos.

Analogamente, foi analisado o menor tempo limite que permitia soluções factíveis para os períodos em todos os tipos de dados, incluindo ocupados, disponíveis e totais planejados. Embora o indicador tradicional de tempo de viagem seja do armazém até o ponto de demanda, para fins de comparação entre a escolha de *cluster* e *hard roof*, torna-se necessária a consideração das parcelas de *hub* até instalação e da instalação até o campo, dado que o *hard roof*, em geral, apresenta um tempo de deslocamento muito maior até os campos, porém um período reduzido de transporte entre o *hub* de origem e a instalação. Dessa forma, o tempo de viagem máximo, ponderado pela demanda, não deve ser superior a 3 horas, também considerando as duas etapas de transporte em condições ideais.

Como forma de contrastar os valores máximos e mínimos de demanda, optou-se por comparar a ocupação efetiva (realizada) versus a expectativa máxima de demanda pelo planejamento da operação (planejado).

4.1 CENÁRIO MSU

Considerando os dados de *plots* ocupados para o cenário MSU, as instalações escolhidas pelo modelo para serem abertas estão colocadas na Tabela 15. A primeira

coluna identifica, em letras maiúsculas, o *cluster* e, em seguida, o campo correspondente.

É possível notar grande quantidade de campos que não apresentaram ocupação, assim como diversos casos em que há a necessidade de abertura de apenas um MSU. Na maioria dos casos, uma vez que é recomendada a abertura de MSU em um campo, a demanda não é reduzida, com exceção das demandas pontuais que surgem nos campos Zelikan (MODM), Al Sh'hamah (UNDP) e Laylan (UNHCR), as quais aparecem apenas em um período. Outro comportamento é o fechamento dos campos individuais de Al-Alam (MODM) e Al-Alam (UNHCR) para a consolidação em um campo conjunto no mês de maio. O *cluster* com maior concentração de MSU é Qayyarah, chegando a 15 MSU ao todo.

Tabela 15 - Tipo de instalação por local considerando *plots* ocupados no cenário MSU (continua)

CLUSTER Campo	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
AL BWEYER										
Al Bweyer_MODM										
AL SH'HAMAH				1	1	1	1	1	1	1
Al Sh'hamah_MODM				MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
AL SH'HAMAH					1					
Al Sh'hamah_UNDP					MSU					
AL-ALAM							1	1	1	1
Al-Alam_2: MoMD&UNHCR							MSU	MSU	MSU	MSU
AL-ALAM		1	1	1	1	1	1			
Al-Alam_MODM		MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU			
AL-ALAM					1	1	1			
Al-Alam_UNHCR					MSU	MSU	MSU			
AL-ALAM										
Olympic Stadium_MODM										
AL-ALAM										
Olympic Stadium_UNHCR										
AMALLA										
Amalla_UNHCR										
CHAMCHAMAL										
Chamchamal_MODM										
DEBAGA					1	1	1	1	1	1
Debaga 1_MODM					MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
DEBAGA					1	1	1	1	1	1
Debaga 2_UNHCR					MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
DEBAGA					1	1	1	1	1	1
Debaga Stadium_UNHCR					MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HAMMAM B										
Al Hasudiya_IOM										
HAMMAM B										
Al Hasudiya_UNDP										
HAMMAM B										
North of Kanhish Village_IOM										
HAMMAM B										
North of Kanhish Village_MODM										
HAMMAM B										
North of Kanhish Village_tbc										
HAMMAM C						3	3	3	3	3
Hammam al-Alii_MODM						MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HAMMAM C/Hammam al-Alii_UNHCR							1	3	3	3
							MSU	MSU	MSU	MSU
HAMMAM/As Salamyiah_2:								1	3	3
N.Gov&UNHCR								MSU	MSU	MSU

Tabela 15 - Tipo de instalação por local considerando *plots* ocupados no cenário MSU (conclusão)

CLUSTER Campo	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
HAMMAM										
As Salamyiah_IOM										
HAMMAM										
As Salamyiah_N.Gov										
HAMMAM										
As Salamyiah_UNHCR										
HASANSHAM B		1	3	3	3	3	3	3	3	3
Hasansham M2_MODM		MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HASANSHAM B										
Hasansham M3_Kuwait										
HASANSHAM B										
Hasansham M3_MODM										
HASANSHAM B		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasansham U3_UNHCR		MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HASANSHAM										
Bartella_N.Gov										
HASANSHAM										
Chamakor_IOM										
HASANSHAM										
Chamakor_tbc										
HASANSHAM										
Chamakor_UNDP										
HASANSHAM						1	1	1	1	1
Chamakor_UNHCR						MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HASANSHAM	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Hasansham M1_MODM	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HASANSHAM										
Hasansham M1_UNHCR										
HASANSHAM								1	1	1
Hasansham U2_UNHCR								MSU	MSU	MSU
LAYLAN					1	1	1	1	1	1
Laylan_MODM					MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
LAYLAN					1					
Laylan_UNHCR					MSU					
NARZIGLIA										
Narziglia_IKL										
NARZIGLIA				1	1	1	3	1	1	1
Narziglia_MODM				MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
NORTH FLIFAL										
North Flifal_MODM										
NORTH FLIFAL										
North Flifal_tbc										
QAYYARAH										
Basateen Al Sheuokh_MODM										
QAYYARAH										
Basateen Al Sheuokh_UNDP										
QAYYARAH										
Dawajin_IOM										
QAYYARAH				1	1	3	3	3	3	3
Haj Ali_IOM				MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
QAYYARAH			1	3	3	6	6	6	6	6
Qayyarah Airstrip_IOM			MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
QAYYARAH	1	1	3	3	3	3	6	6	6	6
Qayyarah Jad'ah_MODM	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
QAYYARAH										
Wadi Murr_IOM										
SAMARRA										
Samarra_MODM										
SURDESH										
Surdesch_MODM										
SURDESH										
Surdesch_UNHCR										
ZELIKAN								1		
Zelikan_MODM								MSU		
ZELIKAN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zelikan_UNHCR	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU

Fonte: Elaborado pelo autor

Para cada instalação escolhida nesse cenário, um *hub* de origem dos suprimentos também deve ser atribuído à instalação, conforme representado pela Tabela 16. A escolha da cidade de Erbil como *hub* de origem para o campo está indicada pela sigla ER, da mesma forma que Tikrit está indicado por TK e Dohuk por DK.

Na região dos *clusters* de Al-Alam e Al Sh'hamah é possível perceber a preferência da origem de Tikrit, enquanto Dohuk aparece em *clusters* como Debaga, Hammam e Hasanshan. Já a opção de Erbil aparece como maioria para os demais *clusters*.

Os campos com maior ocupação, como o encontrado na região de Qayyarah, Hammam e Hasanshan não apresentam unanimidade do *hub* de escolha, ainda que os campos dentro do *cluster* estejam bastante próximos.

Não foram identificados muitos casos de mudança de preferência de *hub* de origem para um mesmo campo ao longo do tempo, com exceção de três casos no *cluster* de Qayyarah: Haj Ali (IOM), Qayyarah Airstrip (IOM) e Qayyarah Jad'ah (MODM), embora predomine a escolha por Erbil.

Tabela 16 - *Hub* de origem por local considerando *plots* ocupados no cenário MSU (continua)

CLUSTER / Campo	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
AL BWEYER / Al Bweyer_MODM										
AL SH'HAMAH / Al Sh'hamah_MODM				TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK
AL SH'HAMAH / Al Sh'hamah_UNDP					ER					
AL-ALAM / Al-Alam_2: MoMD&UNHCR							TK	TK	TK	TK
AL-ALAM / Al-Alam_MODM		TK	TK	TK	TK	TK	TK			
AL-ALAM / Al-Alam_UNHCR					TK	TK	TK			
AL-ALAM / Olympic Stadium_MODM										
AL-ALAM / Olympic Stadium_UNHCR										
AMALLA / Amalla_UNHCR										
CHAMCHAMAL / Chamchamal_MODM										
DEBAGA / Debaga 1_MODM					DK	DK	DK	DK	DK	DK
DEBAGA / Debaga 2_UNHCR					ER	ER	ER	ER	ER	ER
DEBAGA / Debaga Stadium_UNHCR					DK	DK	DK	DK	DK	DK
HAMMAM B / Al Hasudiya_IOM										
HAMMAM B / Al Hasudiya_UNDP										
HAMMAM B / North of Kanhish Village_IOM										
HAMMAM B / North of Kanhish Village_MODM										
HAMMAM B / North of Kanhish Village_tbc										
HAMMAM C / Hammam al-Alil_MODM						ER	ER	ER	ER	ER

Tabela 16 - *Hub* de origem por local considerando *plots* ocupados no cenário MSU (conclusão)

CLUSTER / Campo	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
HAMMAM C / Hammam al-Alil_UNHCR							DK	DK	DK	DK
HAMMAM / As Salamyiah_2: N.Gov&UNHCR								TK	TK	TK
HAMMAM / As Salamyiah_IOM										
HAMMAM / As Salamyiah_N.Gov										
HAMMAM / As Salamyiah_UNHCR										
HASANSHAM B / Hasansham M2_MODM		ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
HASANSHAM B / Hasansham M3_Kuwait										
HASANSHAM B / Hasansham M3_MODM										
HASANSHAM B / Hasansham U3_UNHCR		DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK
HASANSHAM / Bartella_N.Gov										
HASANSHAM / Chamakor_IOM										
HASANSHAM / Chamakor_tbc										
HASANSHAM / Chamakor_UNDP										
HASANSHAM / Chamakor_UNHCR						DK	DK	DK	DK	DK
HASANSHAM / Hasansham M1_MODM	ER	DK	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
HASANSHAM / Hasansham M1_UNHCR										
HASANSHAM / Hasansham U2_UNHCR								ER	ER	ER
LAYLAN / Laylan_MODM					ER	ER	ER	ER	ER	ER
LAYLAN / Laylan_UNHCR					ER					
NARZIGLIA / Narziglia_IKL										
NARZIGLIA / Narziglia_MODM				ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
NORTH FLIFAL / North Flifal_MODM										
NORTH FLIFAL / North Flifal_tbc										
QAYYARAH / Basateen Al Sheuokh_MODM										
QAYYARAH / Basateen Al Sheuokh_UNDP										
QAYYARAH / Dawajin_IOM										
QAYYARAH / Haj Ali_IOM				ER	ER	ER	DK	DK	DK	DK
QAYYARAH / Qayyarah Airstrip_IOM			DK	ER	ER	ER	ER	DK	DK	DK
QAYYARAH / Qayyarah Jad'ah_MODM	TK	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
QAYYARAH / Wadi Murr_IOM										
SAMARRA / Samarra_MODM										
SURDESH / Surdesh_MODM										
SURDESH / Surdesh_UNHCR										
ZELIKAN / Zelikan_MODM								TK		
ZELIKAN / Zelikan_UNHCR	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER

Fonte: Elaborado pelo autor

Da mesma forma, pode-se realizar a análise para o cenário MSU considerando os dados de *plots* totais planejados, que agregam a ocupação real, além daquilo que está disponível e o planejamento adicional.

Na Tabela 17 observam-se as instalações escolhidas para os campos ao longo do tempo. Logo, percebe-se um comportamento muito mais instável da distribuição da demanda, na qual ao menos 15 campos apresentam abertura de MSU apenas de forma pontual em um período. Ao contrário do observado nos dados de ocupação real, acontecem mais casos de diminuição da capacidade da instalação ao longo do tempo, provavelmente relacionado à expectativa de retorno de muitas famílias na fase final da ofensiva.

Tabela 17 - Tipo de instalação por local considerando *plots* planejados no cenário MSU (continua)

CLUSTER Campo	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
AL BWEYER		1								
Al Bweyer_MODM		MSU								
AL SH'HAMAH	3	3	1	1	3	1	1	1	1	1
Al Sh'hamah_MODM	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
AL SH'HAMAH					1					
Al Sh'hamah_UNDP					MSU					
AL-ALAM							3	3	3	3
Al-Alam_2: MoMD&UNHCR							MSU	MSU	MSU	MSU
AL-ALAM	1	3	3	3	3	3	3			
Al-Alam_MODM	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU			
AL-ALAM					1	1	1			
Al-Alam_UNHCR					MSU	MSU	MSU			
AL-ALAM					1					
Olympic Stadium_MODM					MSU					
AL-ALAM				1	1	1	1	1	1	1
Olympic Stadium_UNHCR				MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
AMALLA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Amalla_UNHCR	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
CHAMCHAMAL	3	3								
Chamchamal_MODM	MSU	MSU								
DEBAGA					1	1	1	1	1	1
Debaga 1_MODM					MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
DEBAGA					1	1	1	1	1	1
Debaga 2_UNHCR					MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
DEBAGA					1	1	1	1	1	1
Debaga Stadium_UNHCR					MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HAMMAM B	3	3								
Al Hasudiya_IOM	MSU	MSU								
HAMMAM B	3									
Al Hasudiya_UNDP	MSU									
HAMMAM B	3									
North of Kanhish Village_IOM	MSU									
HAMMAM B	3									
North of Kanhish Village_MODM	MSU									
HAMMAM B	3									
North of Kanhish Village_tbc	MSU									
HAMMAM C				3	3	3	3	3	3	3
Hammam al-Alil_MODM				MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HAMMAM C/Hammam al-Alil_UNHCR					3	3	3	3	3	3
HAMMAM/As Salamyiah_2:					MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
N.Gov&UNHCR							6	6	6	6
HAMMAM		3	3				MSU	MSU	MSU	MSU
As Salamyiah_IOM		MSU	MSU							
HAMMAM				3	1	1	1			
As Salamyiah_N.Gov				MSU	MSU	MSU	MSU			
HAMMAM						6	6			
As Salamyiah_UNHCR						MSU	MSU			
HASANSHAM B	3	3	6	3	3	3	3	3	3	3
Hasansham M2_MODM	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HASANSHAM B	1	1								
Hasansham M3_Kuwait	MSU	MSU								
HASANSHAM B	3	3								
Hasansham M3_MODM	MSU	MSU								

Tabela 17 - Tipo de instalação por local considerando *plots* planejados no cenário MSU (conclusão)

CLUSTER Campo	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
HASANSHAM B	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1
Hasansham U3_UNHCR	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HASANSHAM				3	3	3	3	3	3	3
Bartella_N.Gov				MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HASANSHAM	3	1								
Chamakor_IOM	MSU	MSU								
HASANSHAM	3									
Chamakor_tbc	MSU									
HASANSHAM	1									
Chamakor_UNDP	MSU									
HASANSHAM		1	1	1	1	3	1	1	1	1
Chamakor_UNHCR		MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HASANSHAM	6	6	6	6	3	3	3	3	3	3
Hasansham M1_MODM	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
HASANSHAM	3									
Hasansham M1_UNHCR	MSU									
HASANSHAM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hasansham U2_UNHCR	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
LAYLAN					3	1	1	1	1	1
Laylan_MODM					MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
LAYLAN					1					
Laylan_UNHCR					MSU					
NARZIGLIA	1	1	1	1						
Narziglia_IKL	MSU	MSU	MSU	MSU						
NARZIGLIA	6	3	6	3	3	6	3	3	3	3
Narziglia_MODM	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
NORTH FLIFAL	3									
North Flifal_MODM	MSU									
NORTH FLIFAL	3									
North Flifal_tbc	MSU									
QAYYARAH					1					
Basateen Al					MSU					
Sheuokh_MODM										
QAYYARAH	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Basateen Al	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
Sheuokh_UNDP										
QAYYARAH	3	3	3							
Dawajin_IOM	MSU	MSU	MSU							
QAYYARAH	3	3	1	3	6	6	6	3	3	3
Haj Ali_IOM	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
QAYYARAH	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Qayyarah Airstrip_IOM	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
QAYYARAH	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6
Qayyarah Jad'ah_MODM	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
QAYYARAH		1	1							
Wadi Murr_IOM		MSU	MSU							
SAMARRA					1	3	3	3	3	3
Samarra_MODM					MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
SURDESH			1	1	1	1	1	1	1	1
Surdesch_MODM			MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
SURDESH								1		
Surdesch_UNHCR								MSU		
ZELIKAN			3	3	3	3	3	3	3	3
Zelikan_MODM			MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU
ZELIKAN	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1
Zelikan_UNHCR	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU	MSU

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme nota-se na Tabela 18, a escolha de *hubs* de origem apresenta caráter similar à solução anteriormente apresentada, com predominância da adoção de Erbil como *hub* de escolha. Da mesma forma, os *hubs* de preferência dentro do mesmo *cluster* também apresentam variação.

Entanto, é possível perceber maior consistência da escolha para o mesmo campo, não havendo casos de troca de origem dos suprimentos ao longo dos 10 meses.

Tabela 18 - *Hub* de origem por local considerando *plots* disponíveis no cenário MSU (continua)[illegible]

Tabela 18 - *Hub* de origem por local considerando *plots* disponíveis no cenário MSU (conclusão)

Local	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
NORTH FLIFAL/North Flifal_MODM	DK									
NORTH FLIFAL/North Flifal_tbc	ER									
QAYYARAH/Basateen Al Sheuokh_MODM					DK					
QAYYARAH/Basateen Al Sheuokh_UNDP	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
QAYYARAH/Dawajin_IOM	DK	DK	DK							
QAYYARAH/Haj Ali_IOM	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
QAYYARAH/Qayyarah Airstrip_IOM	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
QAYYARAH/Qayyarah Jad'ah_MODM	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
QAYYARAH/Wadi Murr_IOM		DK	DK							
SAMARRA/Samarra_MODM					TK	TK	TK	TK	TK	TK
SURDESH/Surdesch_MODM			ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
SURDESH/Surdesch_UNHCR								ER		
ZELIKAN/Zelikan_MODM			TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK
ZELIKAN/Zelikan_UNHCR	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER

Fonte: Elaborado pelo autor

Os custos envolvidos na solução para cada um dos períodos considerados de ambos dados base estão na Tabela 19. É possível observar que inicialmente a parcela de custo fixo é bastante significativa na composição do custo final, partindo de 86% desse para o mês de outubro com dados de *plots* ocupados. Nesses casos, é possível destacar que o custo por *plot* é bastante elevado, visto que o custo fixo não é distribuído entre muitas pessoas.

No caso de *plots* totais planejados, o custo por *plot* do primeiro mês já é inferior ao menor custo por *plot* no caso de ocupados (no mês de julho). Ainda existe uma composição predominante do custo fixo, devido à necessidade de abertura de muitos locais diferentes. A inconsistência de crescimento de demanda é refletida nos custos, havendo meses com valores maiores ou menores, sem um padrão cronológico. No entanto, é possível estimar com maior precisão o custo por *plots*, que oscila entre U\$47,34 e U\$57,97, enquanto que para os dados ocupados essa variação apresenta amplitude muito maior (U\$379,75 a U\$56,44).

Tabela 19 - Resultado de componentes de custo para o cenário MSU (continua)

Dados base	Período	Custo frete (U\$)	Custo fixo (U\$)	Custo total (U\$)	Custo/ <i>plot</i> (U\$)
Ocupados	Out/16	85.260	521.473	606.733	379,75
Ocupados	Nov/16	546.729	1.059.983	1.606.712	122,58
Ocupados	Dez/16	313.841	1.267.881	1.581.722	64,01
Ocupados	Jan/17	495.317	1.806.391	2.301.709	67,38

Tabela 19 - Resultado de componentes de custo para o cenário MSU (conclusão)

Dados base	Período	Custo frete (U\$)	Custo fixo (U\$)	Custo total (U\$)	Custo/p/ot (U\$)
Ocupados	Fev/17	708.744	3.023.162	3.731.906	81,84
Ocupados	Mar/17	1.141.827	3.139.742	4.281.568	64,87
Ocupados	Abr/17	1.407.779	3.586.933	4.994.712	61,41
Ocupados	Mai/17	1.450.213	3.760.758	5.210.971	61,21
Ocupados	Jun/17	1.657.163	3.603.970	5.261.133	56,85
Ocupados	Jul/17	1.675.692	3.603.970	5.279.662	56,44
Total Planejado	Out/16	3.105.621	5.597.766	8.703.387	54,18
Total Planejado	Nov/16	2.521.899	4.609.386	7.131.286	47,74
Total Planejado	Dez/16	2.178.856	3.993.917	6.172.773	47,34
Total Planejado	Jan/17	2.048.699	4.019.766	6.068.465	52,65
Total Planejado	Fev/17	2.295.782	5.792.084	8.087.866	57,97
Total Planejado	Mar/17	3.205.315	5.452.659	8.657.974	51,53
Total Planejado	Abr/17	3.383.540	5.899.851	9.283.390	50,39
Total Planejado	Mai/17	2.964.371	5.179.292	8.143.663	52,35
Total Planejado	Jun/17	2.747.678	5.005.468	7.753.146	53,29
Total Planejado	Jul/17	2.746.155	5.005.468	7.751.622	53,36

Fonte: Elaborado pelo autor

Os parâmetros de nível de serviço (pontos de gargalo médio e tempo de viagem médio) estão reproduzidos na Tabela 20, organizada por dados base e período. É possível perceber que o tempo de viagem médio em geral oscila em torno de 2,6 h, com a exceção de *plots* ocupados no mês de novembro, que apresenta um tempo inferior, de 1,66 h. Vale destacar que, nesse mesmo mês, ocorre o máximo de pontos de gargalo.

Observando os valores médios de pontos de gargalo, percebe-se a variação em torno de 0,60, com exceção dos primeiros máximos meses de dados ocupados, apresentando um mínimo de 0,24 e em seguida os valores de 0,90 e 0,81.

Tabela 20 - Resultado de componentes de nível de serviço para o cenário MSU (continua)

Dados base	Período	Pontos gargalo	Tempo viagem (h)
Ocupados	Out/16	0,24	2,27
Ocupados	Nov/16	0,90	1,66
Ocupados	Dez/16	0,81	2,93
Ocupados	Jan/17	0,63	2,83
Ocupados	Fev/17	0,50	2,88
Ocupados	Mar/17	0,53	2,68
Ocupados	Abr/17	0,58	2,79
Ocupados	Mai/17	0,76	2,92
Ocupados	Jun/17	0,74	2,94
Ocupados	Jul/17	0,73	2,93
Total Planejado	Out/16	0,71	2,51

Tabela 20 - Resultado de componentes de nível de serviço para o cenário MSU (conclusão)

Dados base	Período	Pontos gargalo	Tempo viagem (h)
Total Planejado	Nov/16	0,63	2,37
Total Planejado	Dez/16	0,67	2,06
Total Planejado	Jan/17	0,56	2,40
Total Planejado	Fev/17	0,52	2,62
Total Planejado	Mar/17	0,60	2,32
Total Planejado	Abr/17	0,57	2,57
Total Planejado	Mai/17	0,56	2,63
Total Planejado	Jun/17	0,54	2,68
Total Planejado	Jul/17	0,54	2,68

Fonte: Elaborado pelo autor

Afere-se também que não existe uma correlação direta entre o aumento da média de pontos de gargalo com a diminuição do tempo de viagem, ou vice-versa.

4.2 CENÁRIO *CLUSTER* E *HARD ROOF*

Da mesma forma que o cenário anterior, foram obtidas as escolhas de instalações para o cenário misto de *cluster* e *hard roof* primeiramente com dados de *plots* efetivamente ocupados, conforme reproduzido na Tabela 21.

Assim, é possível perceber a escolha em todos os cenários da abertura de um armazém *hard roof* na cidade de Erbil, com capacidades variáveis em função da demanda, apto a atender todos os campos até o mês de abril, quando surge uma necessidade pontual de abertura de um MSU em Al-Alam, que não se repete nos meses seguintes, além da abertura de 10 MSU no *cluster* de Qayyarah, que permanece como escolha até o último mês.

Tabela 21 - Tipo de instalação por local considerando *plots* ocupados no cenário *cluster/hard roof* (continua)

[illegible]

Tabela 21 - Tipo de instalação por local considerando *plots* ocupados no cenário *cluster/hard roof* (conclusão)

Local	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
North Flifal										
Qayyarah							10 MSU	10 MSU	10 MSU	10 MSU
Tikrit										

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 22 apresenta os *hubs* de origem selecionados, sendo o *hub* de Erbil adotado para abastecer o armazém da mesma cidade, coerente com a pequena distância e baixo custo, sem existência de pontos de gargalo. Além disso, Erbil aparece como escolha para o *cluster* de Qayyarah, com exceção do mês de junho, no qual o *hub* de Tikrit é elegido, sendo também a escolha para a demanda pontual do agrupado Al-Alam.

Tabela 22 - *Hub* de origem por local considerando *plots* ocupados no cenário *cluster/hard roof*

Local	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
Al-Alam							TK			
Erbil	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Hamam										
Hamam C										
Hasansham										
Hasansham B										
Narziglia										
North Flifal										
Qayyarah							ER	ER	TK	ER
Tikrit										

Fonte: Elaborado pelo autor

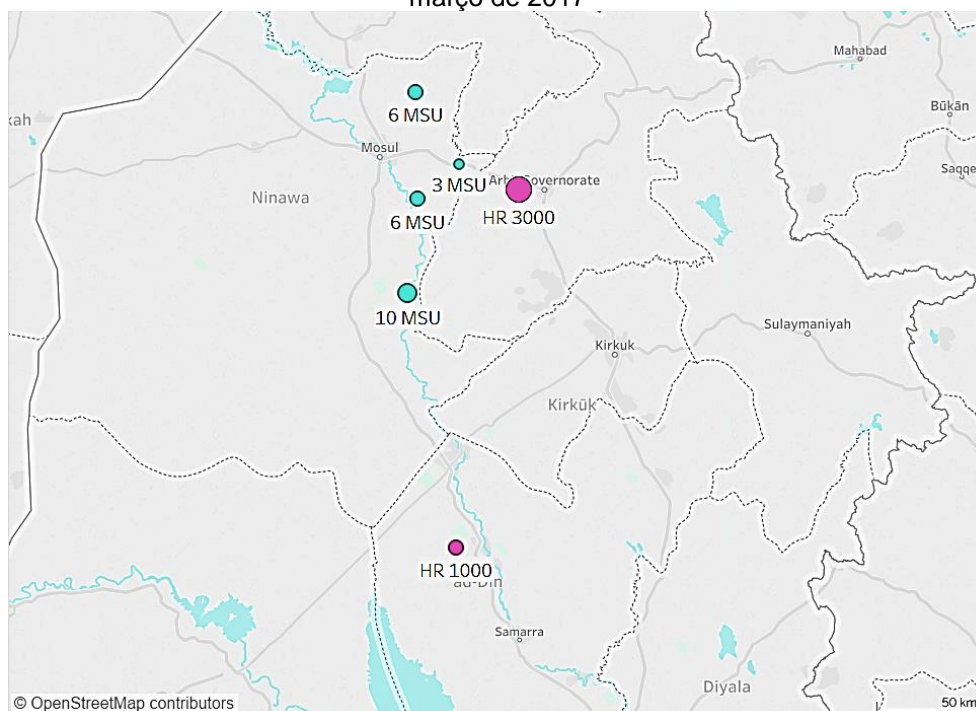
Passando a análise para dados de *plots* totais planejados, afere-se menor consistência da solução proposta, conforme a Tabela 23. Apenas os armazéns de Tikrit e Erbil permanecem como escolha ao longo de todos os meses, porém há uma oscilação negativa pontual da capacidade necessária. O *cluster* de Qayyarah apresenta consistência da abertura de 10 MSU até o fim do período analisado. O *cluster* de Hamam apresenta uma oscilação pontual na quantidade de MSU abertos no mês de abril, mas a escolha se mantém até o fim dos meses considerados. A maioria dos *clusters*, no entanto, optam pela abertura e depois não permanecem com a escolha, possivelmente um reflexo da inconsistência dos próprios dados de ocupação, que oscilam ao longo do tempo.

Tabela 23 - Tipo de instalação por local considerando *plots* planejados no cenário *cluster/hard roof*

Local	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
Al-Alam										
Erbil	HR 3000	HR 3000	HR 1000	HR 3000	HR 3000	HR 3000	HR 3000	HR 3000	HR 3000	HR 3000
Hammam						6 MSU	10 MSU	6 MSU	6 MSU	6 MSU
Hammam C							6 MSU	3 MSU		
Hasansham	10 MSU	6 MSU	6 MSU			3 MSU				
Hasansham B			6 MSU							
Narziglia	6 MSU		3 MSU			6 MSU				
North Flifal	3 MSU									
Qayyarah		10 MSU	10 MSU	10 MSU	10 MSU	10 MSU	10 MSU	10 MSU	10 MSU	10 MSU
Tikrit	HR 1000	HR 1000	HR 500	HR 500	HR 1000	HR 1000	HR 1000	HR 1000	HR 1000	HR 1000

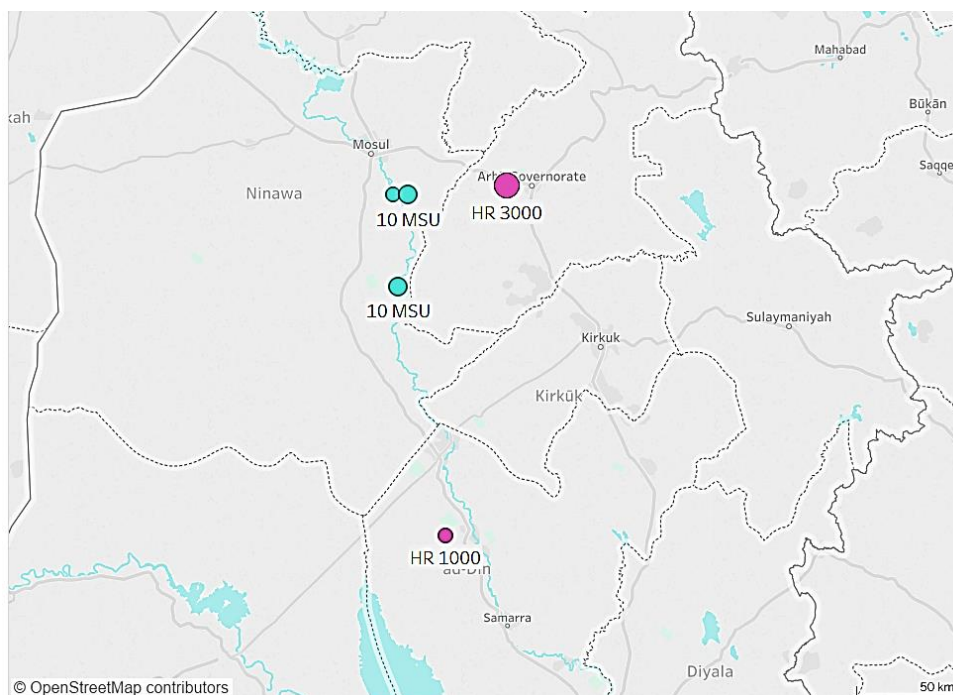
Fonte: Elaborado pelo autor

As Figuras 26 e 27 ilustram as localizações de escolha para os meses de março e abril de 2017, nas quais é possível contrastar o estabelecimento da localização de abertura dos MSU em *cluster*, estando o primeiro mais disperso e o segundo mais concentrado nas margens do rio Tigre.

Figura 26 - Localização de instalações do cenário *cluster/hard roof*, para dados de planejamento em março de 2017

Fonte: Elaborado pelo autor com o software Tableau

Figura 27 - Localização de instalações do cenário *cluster/hard roof*, para dados de planejamento em abril de 2017



Fonte: Elaborado pelo autor com o *software Tableau*

Novamente, com relação aos *hubs* de origem selecionados, Tabela 24, nota-se a escolha de Erbil para abastecer o armazém da mesma cidade, assim como no caso de Tikrit com o armazém do mesmo local. Majoritariamente o *hub* de escolha é Erbil, com casos pontuais optando por Dohuk. O *cluster* de Qayyarah oscila a escolha entre Tikrit e Erbil, apontando para a possibilidade de ele poder ser abastecido por ambos em um cenário vantajoso.

Tabela 24 - *Hub* de origem por local considerando *plots* disponíveis no cenário *cluster/hard roof*

Local	Out 2016	Nov 2016	Dez 2016	Jan 2017	Fev 2017	Mar 2017	Abr 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017
Al-Alam										
Erbil	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Hamam						ER	ER	ER	ER	ER
Hamam C							DK	ER		
Hasansham	DK	ER	ER			ER				
Hasansham B			ER							
Narziglia	DK		ER			DK				
North Flifal	DK									
Qayyarah		ER	TK	TK	ER	ER	ER	ER	ER	TK
Tikrit	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK	TK

Fonte: Elaborado pelo autor

Os componentes de custos associados às soluções foram reproduzidos na Tabela 25, onde o custo de frete é composto pelas parcelas do deslocamento do *hub* até a

instalação e dessa até o campo final. Novamente, o custo inicial por *plot* apresenta um valor elevado para o dado de ocupação, mas a quantia de U\$163,74 é bastante inferior à obtida no cenário MSU. A partir de dezembro, o custo é reduzido gradativamente de U\$38 a U\$35. Para os dados planejados, há uma oscilação pequena em torno do valor de U\$34.

Ao contrário da tendência observada no cenário MSU, a parcela de custo fixo (à exceção do dado de ocupados de outubro) é inferior ao gasto em frete.

Tabela 25 - Resultado de componentes de custo para o cenário *cluster/hard roof*

Dados base	Período	Custo frete	Custo fixo	Custo total	Custo/plot
Ocupados	Out/16	46.004	195.480	241.484	163,74
Ocupados	Nov/16	359.557	209.700	569.257	47,05
Ocupados	Dez/16	678.595	209.700	888.295	38,94
Ocupados	Jan/17	967.274	270.210	1.237.484	39,24
Ocupados	Fev/17	1.317.068	304.830	1.621.898	38,53
Ocupados	Mar/17	1.893.487	340.590	2.234.077	36,67
Ocupados	Abr/17	1.960.016	795.238	2.755.254	36,70
Ocupados	Mai/17	2.235.800	621.413	2.857.213	36,36
Ocupados	Jun/17	2.381.486	657.173	3.038.660	35,57
Ocupados	Jul/17	2.402.686	657.173	3.059.859	35,44
Tot. Plan.	Out/16	3.607.387	1.331.102	4.938.489	33,31
Tot. Plan.	Nov/16	3.625.234	1.140.240	4.765.475	34,56
Tot. Plan.	Dez/16	2.736.331	1.459.359	4.195.690	34,86
Tot. Plan.	Jan/17	2.975.590	852.653	3.828.243	35,98
Tot. Plan.	Fev/17	3.639.266	866.873	4.506.139	34,99
Tot. Plan.	Mar/17	3.862.075	1.604.469	5.466.543	35,25
Tot. Plan.	Abr/17	4.060.524	1.456.824	5.517.347	32,45
Tot. Plan.	Mai/17	3.559.119	1.331.102	4.890.220	34,05
Tot. Plan.	Jun/17	3.467.256	1.140.240	4.607.496	34,31
Tot. Plan.	Jul/17	3.461.576	1.140.240	4.601.816	34,32

Fonte: Elaborado pelo autor

Os indicadores de nível de serviço estão decompostos conforme as parcelas referentes ao deslocamento de cada *hub* até o armazém e desse até o campo na Tabela 26.

O tempo médio varia aproximadamente de 2 a 2,7 horas. No entanto, os pontos de gargalo para os dados ocupados apresentam maior variação: enquanto o mês de outubro apresenta a média de 0,24, o mês seguinte apresenta o pico de 0,9, estando

os demais próximos de 0,45. Para os dados totais planejados, há uma amplitude menor, em que os valores ficam próximos de 0,55.

Tabela 26 - Resultado de componentes de nível de serviço para o cenário *cluster/hard roof*

Dados base	Período	Tempo até armazém (h)	Tempo até campo (h)	Tempo total (h)	Pontos gargalo até armazém	Pontos gargalo até campo	Pontos gargalo totais
Ocupados	Out/16	0,00	2,55	2,55	0,00	0,24	0,24
Ocupados	Nov/16	0,00	1,98	1,98	0,00	0,90	0,90
Ocupados	Dez/16	0,00	2,09	2,09	0,00	0,68	0,68
Ocupados	Jan/17	0,00	2,23	2,23	0,00	0,63	0,63
Ocupados	Fev/17	0,00	2,29	2,29	0,00	0,42	0,42
Ocupados	Mar/17	0,00	2,40	2,40	0,00	0,48	0,48
Ocupados	Abr/17	0,77	1,43	2,19	0,00	0,42	0,42
Ocupados	Mai/17	0,96	1,42	2,38	0,00	0,45	0,45
Ocupados	Jun/17	1,08	1,60	2,68	0,00	0,46	0,46
Ocupados	Jul/17	0,76	1,60	2,35	0,00	0,46	0,46
Tot. Plan.	Out/16	0,73	1,41	2,14	0,35	0,21	0,56
Tot. Plan.	Nov/16	0,73	1,41	2,15	0,15	0,37	0,52
Tot. Plan.	Dez/16	1,61	0,74	2,35	0,43	0,17	0,60
Tot. Plan.	Jan/17	0,76	1,65	2,41	0,00	0,56	0,56
Tot. Plan.	Fev/17	0,60	1,58	2,18	0,00	0,46	0,46
Tot. Plan.	Mar/17	0,83	1,28	2,11	0,25	0,32	0,57
Tot. Plan.	Abr/17	0,91	1,05	1,97	0,26	0,29	0,55
Tot. Plan.	Mai/17	0,89	1,16	2,06	0,19	0,34	0,53
Tot. Plan.	Jun/17	0,73	1,43	2,16	0,11	0,40	0,51
Tot. Plan.	Jul/17	0,98	1,43	2,41	0,11	0,40	0,51

Fonte: Elaborado pelo autor

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelo modelo para os diversos cenários, períodos e tipos de dados permitem o levantamento de questões acerca das vantagens da adoção de um cenário de centralização dos armazéns por meio de *clusters* e *hard roofs*. Além disso, torna-se necessária uma análise da sensibilidade das soluções obtidas, assim como a calibração do modelo para antecipar a variação do orçamento total em função de mudanças ocorridas.

5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DE SERVIÇO

A análise de sensibilidade permite compreender a possibilidade de alteração dos parâmetros de nível de serviço para cada iteração do modelo que admita manter a escolha de instalações conforme o cenário base. A Tabela 27 apresenta os valores de restrição de pontos de gargalo mínimos que proporcionam a manutenção da configuração sugerida anteriormente para o cenário *cluster/hard roof*.

É possível perceber que a solução base, definida como a solução obtida para cada mês com os dados de ocupação e planejamento, tal como apresentado nas seções 4.1 e 4.2, já aponta o menor valor de restrição possível para a manutenção da configuração dos armazéns, provavelmente por conta da própria minimização de distâncias para redução de custos com frete. Os valores do parâmetro foram variados com decremento de 0,01.

Partindo do mínimo valor possível que a solução permite sem alterar a solução, ainda foi feito um decréscimo adicional de 0,01 para descrever qual seria o incremento do arranjo necessário para atender à nova restrição, assim como a variação adicional do custo ótimo que essa ação representaria.

Para os primeiros meses com dados de ocupação, o decréscimo adicional do valor mínimo que mantém a solução torna o problema infactível.

Tabela 27 - Análise de sensibilidade de pontos de gargalo limite para o cenário *cluster/hard roof*

Dados Base	Período	Umáx mínimo	Variação de Umáx 0,9	Variação do custo ótimo	Incremento da próxima solução	Variação do custo ótimo
Ocupados	Out/16	0,24	-73%	0%	Infactível	-
Ocupados	Nov/16	0,9	0%	0%	Infactível	-
Ocupados	Dez/16	0,68	-24%	0%	Infactível	-
Ocupados	Jan/17	0,63	-30%	0%	Infactível	-
Ocupados	Fev/17	0,42	-53%	0%	Infactível	-
Ocupados	Mar/17	0,48	-47%	0%	Abertura de 3 MSU	9,85%
Ocupados	Abr/17	0,42	-53%	0%	Redução de HR 2000 para HR 1500 Abertura de HR 500 Fechamento de 1 MSU	2,96%
Ocupados	Mai/17	0,45	-50%	0%	Abertura de 3 MSU	5,44%
Ocupados	Jun/17	0,46	-49%	0%	Abertura de 3 MSU	5,19%
Ocupados	Jul/17	0,46	-49%	0%	Redução de HR 3000 para HR 2000 Abertura de 3 MSU	5,34%
Tot. Plan.	Out/16	0,56	-38%	0%	Abertura de 3 MSU	0,88%
Tot. Plan.	Nov/16	0,52	-42%	0%	Aumento de HR 1000 para HR 1500 Fechamento de 10 MSU Abertura de 3 MSU em dois locais	0,76%
Tot. Plan.	Dez/16	0,60	-33%	0%	Troca de local de HR 1000	0,85%
Tot. Plan.	Jan/17	0,56	-38%	0%	Aumento HR 500 para HR 1000 Abertura de 3 MSU em dois locais Abertura de 1 MSU Fechamento de 10 MSU	2,29%
Tot. Plan.	Fev/17	0,46	-49%	0%	Abertura de 1 MSU Abertura de 3 MSU Aumento de 6 MSU para 10 MSU	1,91%
Tot. Plan.	Mar/17	0,57	-37%	0%	Abertura de 3 MSU em dois locais	0,32%
Tot. Plan.	Abr/17	0,55	-39%	0%	Abertura de 1 MSU Redução de 6 MSU para 3 MSU	1,20%
Tot. Plan.	Mai/17	0,53	-41%	0%	Abertura de 1 MSU Fechamento de 3 MSU	2,01%
Tot. Plan.	Jun/17	0,51	-43%	0%	Fechamento de 6 MSU Abertura de 1 MSU Abertura de 3 MSU	1,81%
Tot. Plan.	Jul/17	0,51	-43%	0%	Fechamento de 6 MSU Abertura de 1 MSU Abertura de 3 MSU	1,82%

Fonte: Elaborado pelo autor

Para o cenário MSU como a escolha dos locais é determinada pela progressão da ocupação, foi feita a variação com decréscimo de 0,01 de forma a encontrar o mínimo valor que permite solução, assim como a variação do custo ótimo que isso implica. Os

resultados foram reproduzidos na Tabela 28, na qual é possível observar que a maioria das restrições fica bastante abaixo do valor 0,9. Para a maioria dos casos, é possível restringir o valor abaixo de 0,6, o que faz com que o custo aumente em relação ao ponto ótimo.

Tabela 28 - Análise de sensibilidade de pontos de gargalo limite para o cenário MSU

Dados Base	Período	Umáx mínimo	Variação de Umáx 0,9	Variação do custo ótimo	Incremento da próxima solução	Variação do custo ótimo
Ocupados	Out/16	0,24	-73,3%	0%	Infactível	-
Ocupados	Nov/16	0,9	0,0%	0%	Infactível	-
Ocupados	Dez/16	0,69	-10,0%	1,8%	Infactível	-
Ocupados	Jan/17	0,63	-30,0%	0%	Infactível	-
Ocupados	Fev/17	0,43	-44,4%	0,4%	Infactível	-
Ocupados	Mar/17	0,4	-41,1%	6,3%	Infactível	-
Ocupados	Abr/17	0,34	-35,6%	6,3%	Infactível	-
Ocupados	Mai/17	0,33	-15,6%	7,6%	Infactível	-
Ocupados	Jun/17	0,35	-17,8%	6,6%	Infactível	-
Ocupados	Jul/17	0,35	-18,9%	7,5%	Infactível	-
Tot. Plan.	Out/16	0,59	-21,1%	5,0%	Infactível	-
Tot. Plan.	Nov/16	0,47	-30,0%	7,4%	Infactível	-
Tot. Plan.	Dez/16	0,54	-25,6%	6,0%	Infactível	-
Tot. Plan.	Jan/17	0,49	-37,8%	6,7%	Infactível	-
Tot. Plan.	Fev/17	0,36	-42,2%	7,4%	Infactível	-
Tot. Plan.	Mar/17	0,45	-33,3%	9,4%	Infactível	-
Tot. Plan.	Abr/17	0,44	-36,7%	7,0%	Infactível	-
Tot. Plan.	Mai/17	0,44	-37,8%	6,8%	Infactível	-
Tot. Plan.	Jun/17	0,40	-40,0%	7,0%	Infactível	-
Tot. Plan.	Jul/17	0,40	-40,0%	7,0%	Infactível	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Da mesma forma, foi feita a avaliação dos resultados em função da variação do tempo máximo, com decrementos de 0,01. A Tabela 29 apresenta os valores obtidos, assim como os incrementos da solução e custos correspondentes para o valor abaixo do mínimo que mantenha a configuração dos armazéns.

Tabela 29 - Análise de sensibilidade de tempo limite para o cenário *cluster/hard roof* (continua)

Dados Base	Período	Tmáx mínimo	Variação de Tmáx = 3	Variação do custo ótimo	Incremento da próxima solução	Variação do custo ótimo
Ocupados	Out/16	2,55	-15%	0%	Abertura de 1 MSU	65,1%
Ocupados	Nov/16	1,98	-34%	0%	Abertura de 3 MSU Redução de HR 1000 para HR 500	12,3%
Ocupados	Dez/16	2,09	-30%	0%	Abertura de 3 MSU	9,5%

Tabela 29 - Análise de sensibilidade de tempo limite para o cenário *cluster/hard roof* (conclusão)

Dados Base	Período	T _{máx} mínimo	Variação de T _{máx} = 3	Variação do custo ótimo	Incremento da próxima solução	Variação do custo ótimo
Ocupados	Jan/17	2,23	-26%	0%	Abertura de 3 MSU Redução de HR 1500 para HR 1000	0,5%
Ocupados	Fev/17	2,29	-24%	0%	Abertura de 3 MSU Redução de HR 2000 para HR 1500	3,1%
Ocupados	Mar/17	2,40	-20%	0%	Abertura de 3 MSU	3,0%
Ocupados	Abr/17	2,19	-27%	0%	Abertura de HR 500 Fechamento de 1 MSU	1,1%
Ocupados	Mai/17	2,38	-21%	0%	Abertura de 3 MSU em dois locais Redução de HR 2000 para HR 1000	0,2%
Ocupados	Jun/17	2,34	-22%	0%	Abertura de 3 MSU Redução de HR 3000 para HR 2000	0,5%
Ocupados	Jul/17	2,35	-22%	0%	Abertura de 3 MSU Redução de HR 3000 para HR 2000	0,3%
Tot. Plan.	Out/16	2,03	-32%	0,3%	Abertura de 3 MSU	0,9%
Tot. Plan.	Nov/16	2,15	-28%	0%	Redução de HR 1000 para HR 500	0,4%
Tot. Plan.	Dez/16	1,99	-34%	0,01%	Troca HR 1000 de local	0,8%
Tot. Plan.	Jan/17	2,17	-28%	0,44%	Abertura de 3 MSU em dois locais Redução de 10 MSU para 3 MSU	0,4%
Tot. Plan.	Fev/17	2,18	-27%	0%	Abertura de 3 MSU	0,2%
Tot. Plan.	Mar/17	2,11	-30%	0%	Troca de 3 MSU de local	0,3%
Tot. Plan.	Abr/17	1,97	-34%	0%	Redução de 6 MSU para 3 MSU Abertura de 3 MSU	0,4%
Tot. Plan.	Mai/17	2,03	-32%	0%	Abertura de 3 MSU	1,1%
Tot. Plan.	Jun/17	2,16	-28%	0%	Abertura de 3 MSU Abertura de 6 MSU	0,3%
Tot. Plan.	Jul/17	2,17	-28%	0%	Fechamento de 6 MSU Abertura de 3 MSU	0,3%

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 30 a mesma análise é feita para o cenário MSU. Conclui-se, a partir dos resultados, que o modelo suporta restrições bastante inferiores ao tempo limite de 3h, no entanto, a escolha da adoção de tamanha redução implica no aumento de custo de cerca de 30% para grande parte dos casos.

Tabela 30 - Análise de sensibilidade de tempo limite para o cenário MSU

Dados Base	Período	T _{máx} mínimo	Variação de T _{máx} = 3	Variação do custo ótimo	Incremento da próxima solução	Variação do custo ótimo
Ocupados	Out/16	1,37	-54%	3%	Infactível	-
Ocupados	Nov/16	0,93	-69%	9%	Infactível	-
Ocupados	Dez/16	0,46	-85%	36%	Infactível	-
Ocupados	Jan/17	0,40	-87%	30%	Infactível	-
Ocupados	Fev/17	0,69	-77%	19%	Infactível	-
Ocupados	Mar/17	0,77	-74%	22%	Infactível	-
Ocupados	Abr/17	0,75	-75%	25%	Infactível	-
Ocupados	Mai/17	0,74	-75%	26%	Infactível	-
Ocupados	Jun/17	0,68	-77%	25%	Infactível	-
Ocupados	Jul/17	0,67	-78%	24%	Infactível	-
Tot. Plan.	Out/16	0,80	-73%	35%	Infactível	-
Tot. Plan.	Nov/16	0,74	-75%	34%	Infactível	-
Tot. Plan.	Dez/16	0,51	-83%	30%	Infactível	-
Tot. Plan.	Jan/17	0,84	-72%	27%	Infactível	-
Tot. Plan.	Fev/17	0,86	-71%	24%	Infactível	-
Tot. Plan.	Mar/17	0,78	-74%	27%	Infactível	-
Tot. Plan.	Abr/17	0,70	-77%	27%	Infactível	-
Tot. Plan.	Mai/17	0,70	-77%	29%	Infactível	-
Tot. Plan.	Jun/17	0,72	-76%	24%	Infactível	-
Tot. Plan.	Jul/17	0,71	-76%	28%	Infactível	-

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2 CALIBRAÇÃO DO MODELO

Como os parâmetros foram obtidos a partir de estimativas, é importante compreender a variação da resposta do modelo em função da variação dos parâmetros. Observar a variação do custo total permite ponderar as possibilidades de variação no orçamento em função de mudanças do cenário base.

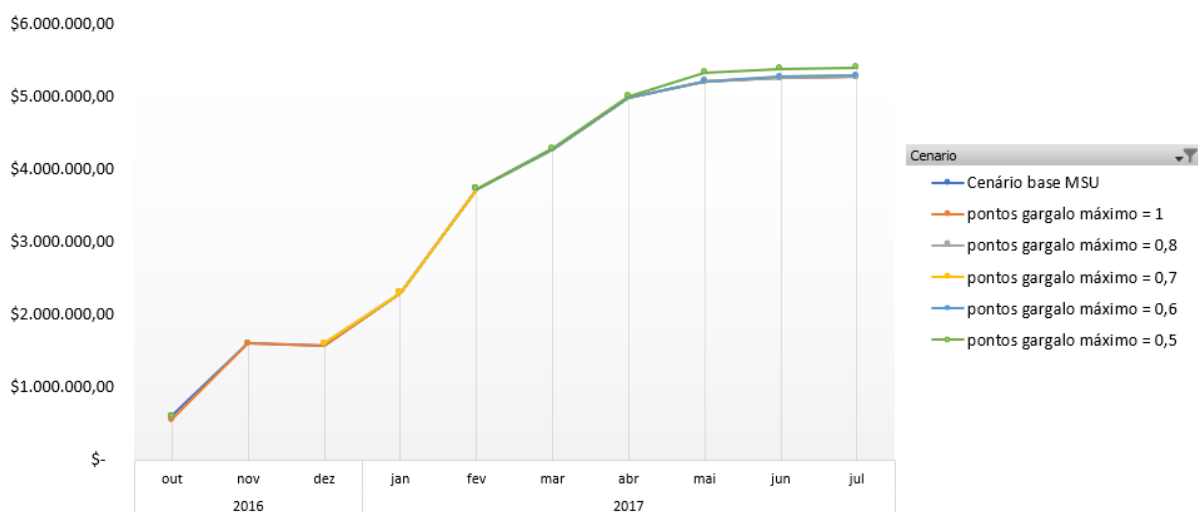
5.2.1 Pontos de gargalo

No caso dos pontos de gargalo, conforme observado pela análise de sensibilidade, a redução do valor da restrição de 0,9 torna a solução infactível para o mês de novembro de 2016, considerando o dado de *plots* ocupados. Conforme é possível verificar na Figura 28, restrições abaixo de 0,6 tornam as soluções dos meses de dezembro e janeiro também infactíveis, dados os outros parâmetros constantes. No caso da

consideração de ponto de gargalo médio limite com valor igual a 1, apenas a solução do mês de outubro apresenta alteração, com um valor de custo 8% inferior ao resultado base. A redução da restrição para os valores 0,8 ou 0,7 levam os valores de dezembro a obter um custo 1,8% superior à base, enquanto para os demais meses a diferença é inferior a 0,5%. A restrição mais rígida de 0,5 leva a um aumento no custo de 2,4% para o último trimestre. A partir da condição de 0,4, apenas o mês de outubro apresenta soluções factíveis, e acima de 1, todas as soluções são mantidas.

Analogamente, para os dados de planejamento, é possível observar que a restrição de 0,5 infactibiliza soluções para os meses de outubro e dezembro, enquanto a mudança do parâmetro para 0,6 implica no aumento de 5% do custo. Para os demais meses, a única modificação de parâmetro que indica uma mudança nos custos finais é a restrição de 0,5 para os meses em que há solução, chegando a 6% de aumento, conforme a ilustração da Figura 29.

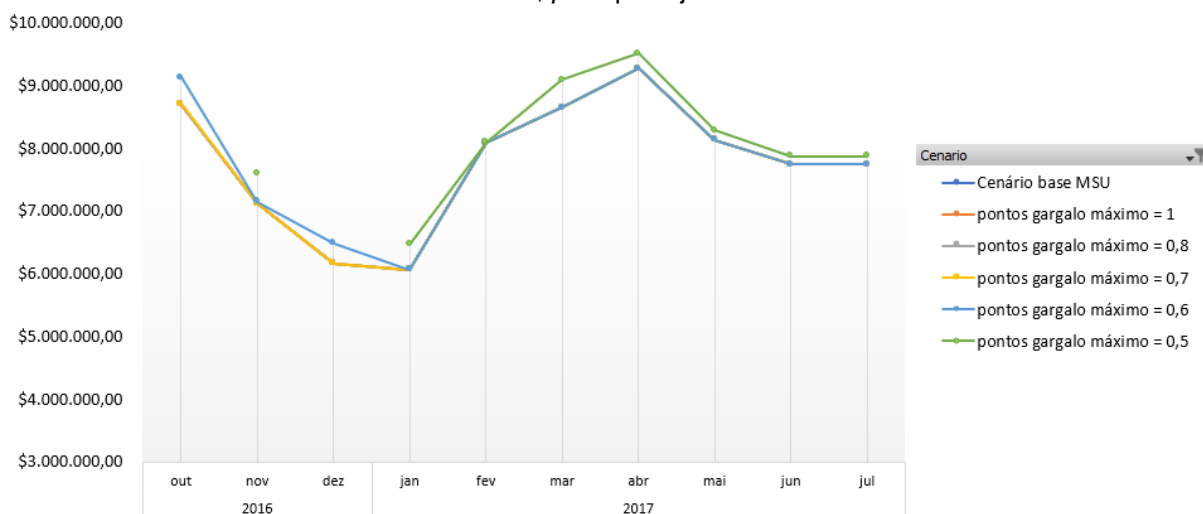
Figura 28 - Gráfico de variação de custo em função dos pontos de gargalo máximos para o cenário MSU, *plots* ocupados



Fonte: Elaborado pelo autor

No caso do cenário *cluster* e *hard roof*, ao analisar o custo total em função dos pontos de gargalo máximos, percebe-se que não há variação, apenas para os casos que se tornam infactíveis com a redução do limite, como novembro abaixo de 0,8 e janeiro e fevereiro abaixo de 0,6.

Figura 29 - Gráfico de variação de custo em função dos pontos de gargalo máximos para o cenário MSU, *plots* planejados



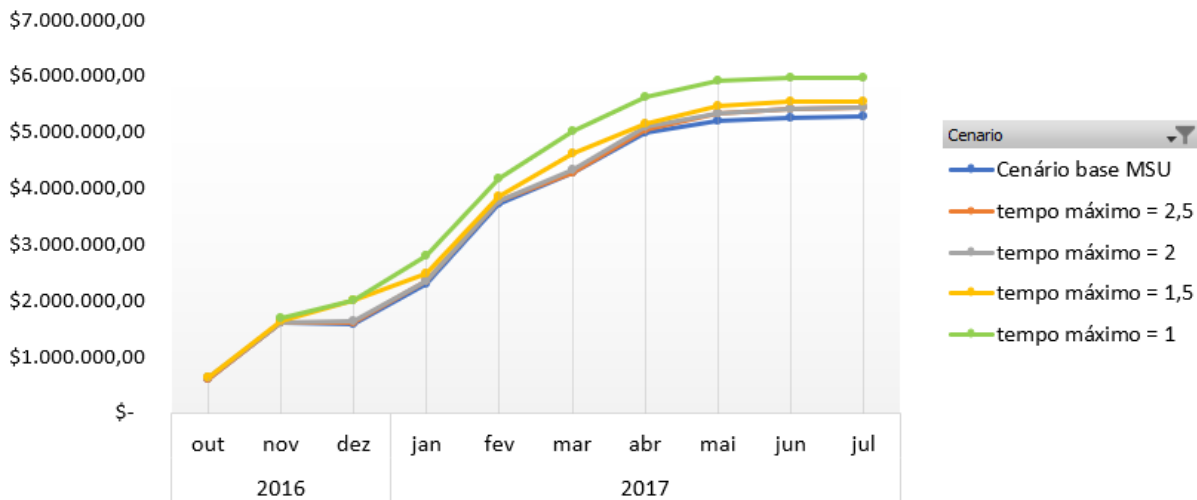
Fonte: Elaborado pelo autor

Observando os dados planejados totais do cenário *cluster/hard roof*, apreende-se que também não há alteração do custo final variando os parâmetros de pontos de gargalo máximo de 1,1 a 0,6. Quanto ao limite mais restrito de 0,5, tornam-se infactíveis as soluções para os meses de outubro e dezembro, contudo para os demais meses há um aumento de custo de até 6%.

5.2.2 Tempo de trajeto

Passando para a análise do tempo máximo, o cenário base de MSU sofre modificações conforme a diminuição do tempo limite. Na Figura 30, verifica-se que as restrições de 2,5 e 2h não implicam em uma diferença de custo muito significativa, em média 1,8% superior ao original. Já para a restrição de 1,5 e 1h, destaca-se o crescimento relativo dos custos no mês de dezembro em 26%. Além disso, a restrição de 1h é suficiente para tornar a solução de outubro infactível, sendo que, para os demais meses, há um aumento de custo em torno de 15%.

Figura 30 - Gráfico de variação de custo em função do tempo médio limite para o cenário MSU, *plots* ocupados



Fonte: Elaborado pelo autor

Um comportamento muito similar é observado para o cenário MSU, considerando os *plots* planejados. As restrições até 2h não fazem com que o custo total ultrapasse 2% com relação ao cenário base. Enquanto a média de crescimento de custo para a restrição de tempo igual a 1,5h é de 4,24%, o valor observado para a restrição de 1h é superior a 14%.

No cenário misto de *cluster* com *hard roof*, para dados de ocupação, a solução é mantida para valores de 2,5 horas. Quando a restrição atinge o valor de 2h, outubro torna-se infactível, enquanto os outros meses apresentam um incremento no custo de cerca de 5% sobre o valor original. Para valores de restrição abaixo de 1,5h, todos os meses apresentam infactibilidade.

Analogamente, para dados de planejamento, o reflexo da alteração dos parâmetros é similar: o custo total permanece inalterado em função da redução para 2,5 horas. Para o valor seguinte de 2h, existe um pequeno acréscimo de 2%. Restrições abaixo desse valor tornam o modelo infactível.

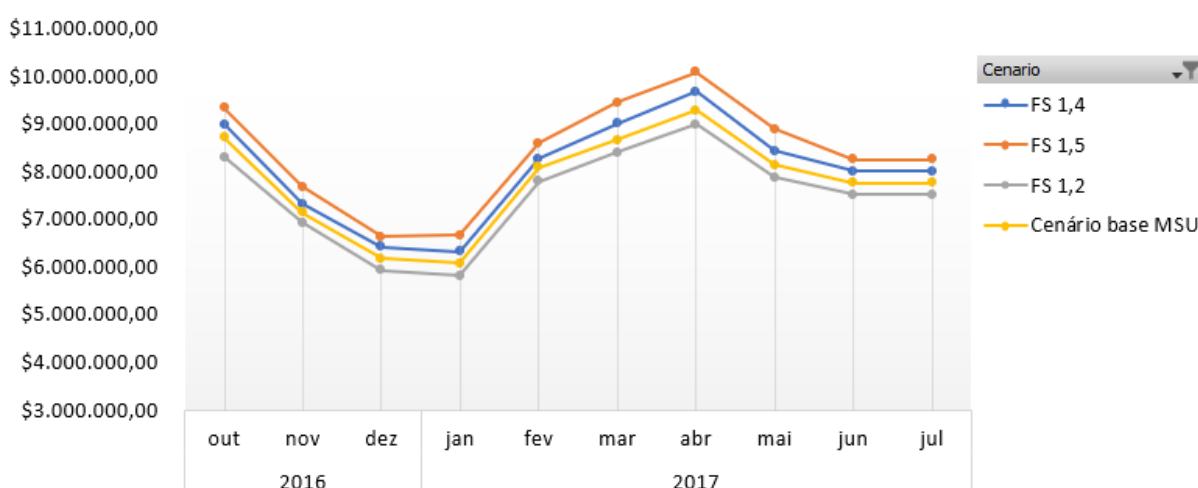
5.2.3 Fator de segurança

A variação do fator de segurança aplicado altera a demanda e gera um crescimento de custo bastante estável com relação ao cenário base, seja para ocupados ou

planejados. Como é possível observar na Figura 31, a redução do fator para 1,2 gera uma economia de cerca de 3,5%. Na mesma proporção, o aumento do fator para 1,4 representa uma expansão do custo em 3,5%, enquanto o valor de 1,5 gera aumento de pouco mais de 7%.

Um comportamento semelhante ocorre com o cenário de *cluster* e *hard roof*, onde a redução do fator de segurança de 1,2 para 1,1 faz com que haja um decréscimo de 7%, valor equivalente ao crescimento apresentado caso a mudança seja para 1,3. O valor 1,4, conforme esperado, gira em torno de 14%.

Figura 31 - Gráfico de variação de custo em função do fator de segurança para o cenário MSU, *plots* planejados

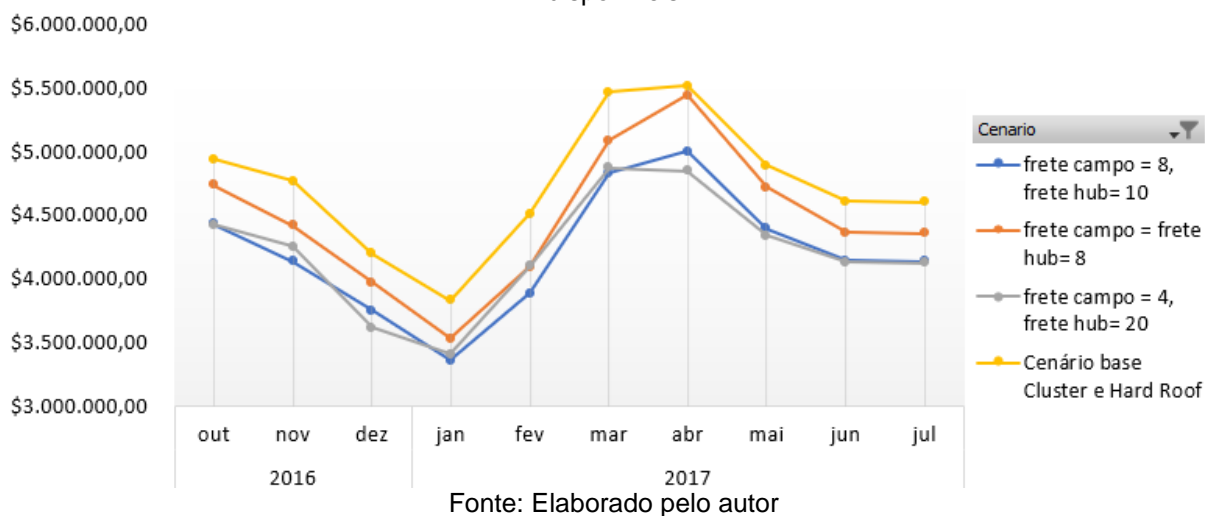


Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.4 Frete

Avaliando as opções de frete disponíveis, foram simuladas combinações de frete do *hub* até a instalação e dessa até o campo. Com isso, é possível verificar as variações do custo conforme tais valores de frete se aproximam ou se distanciam (Figura 32). Utilizando, por exemplo, a capacidade de 8 t para ambos os trechos, percebe-se a redução de custo por volta de 5%. Adotando um frete mínimo partindo do *hub*, com 20 t, obtém-se um resultado semelhante à adoção de um frete mais econômico de 8 t, os quais permitem o decréscimo do custo em 11%.

Figura 32 - Gráfico de variação de custo em função do frete para o cenário *cluster/hard roof, plots* disponíveis

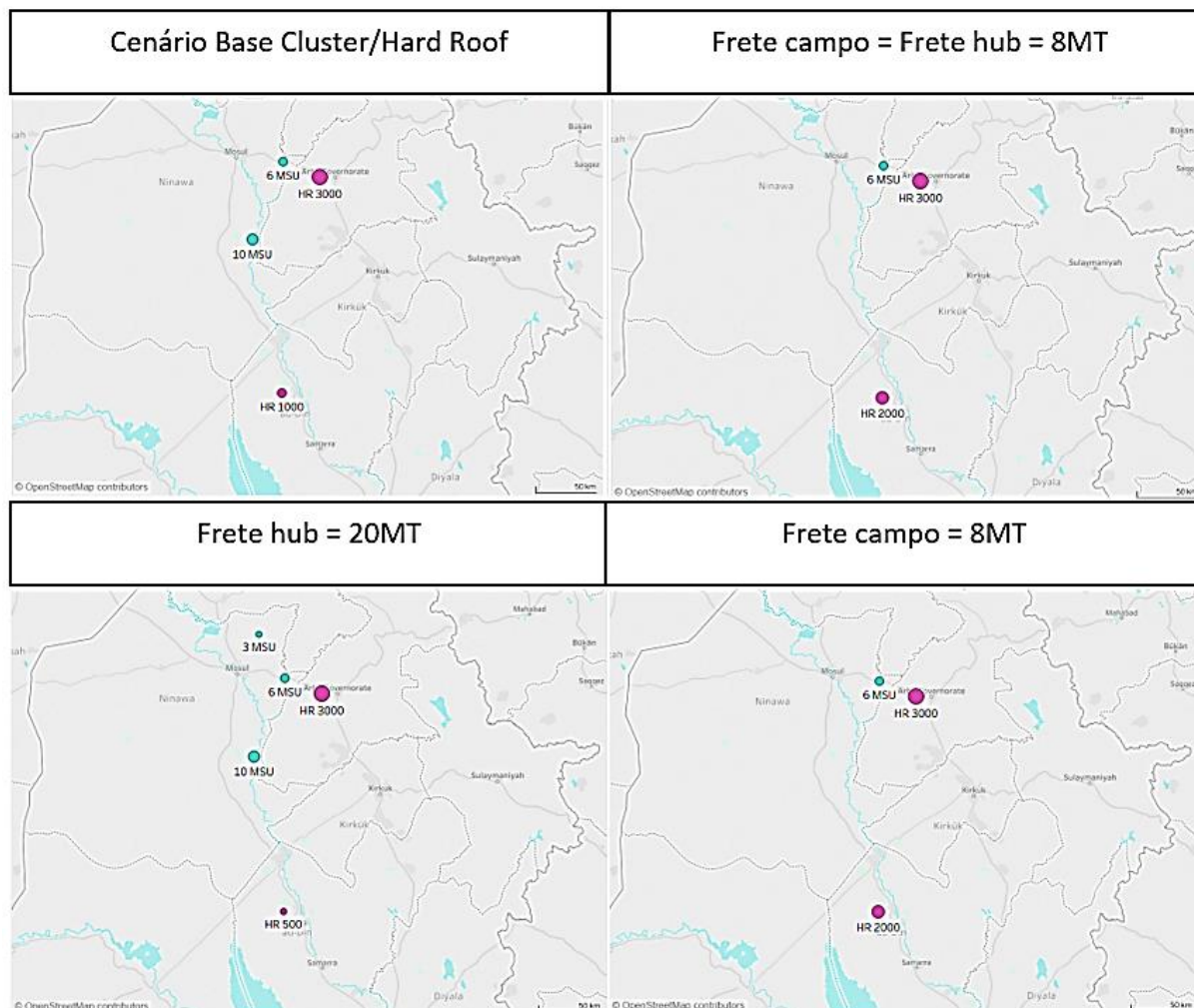


A Figura 33 representa a solução obtida para o cenário base, em que a modalidade de frete até o campo é de 4 t, e até a instalação de 10 t, assim como a alteração do frete do *hub* para 20 t, ou do frete do campo para 8 t, ou a mudança simultânea dos fretes para 8 t.

É perceptível que o encarecimento do frete do *hub* para a modalidade de 8 t provoca a não abertura de um *cluster* com 10 MSU. O barateamento desse trecho para a alternativa de 20 t sugere a abertura de outra unidade de *cluster* próximo a Erbil. Quando a diferença de frete das modalidades dos trechos é menor, com frete do *hub* de 8MT e o frete do campo de 4 t, o resultado é similar à solução obtida quando os fretes se igualam.

A mudança da modalidade de frete para o cenário MSU não implica na alteração de localização das instalações, dado que elas são determinadas pela demanda. Assim sendo, ao considerar o frete até o local do campo como a opção de 10 t, é possível obter uma redução de cerca de 6% do custo, tanto para os *plots* planejados quanto para os ocupados.

Figura 33 - Localização de instalações em função do frete para o cenário *cluster/hard roof* e *plots* disponíveis, para o mês de novembro de 2016



Fonte: Elaborado pelo autor com o software *Tableau*

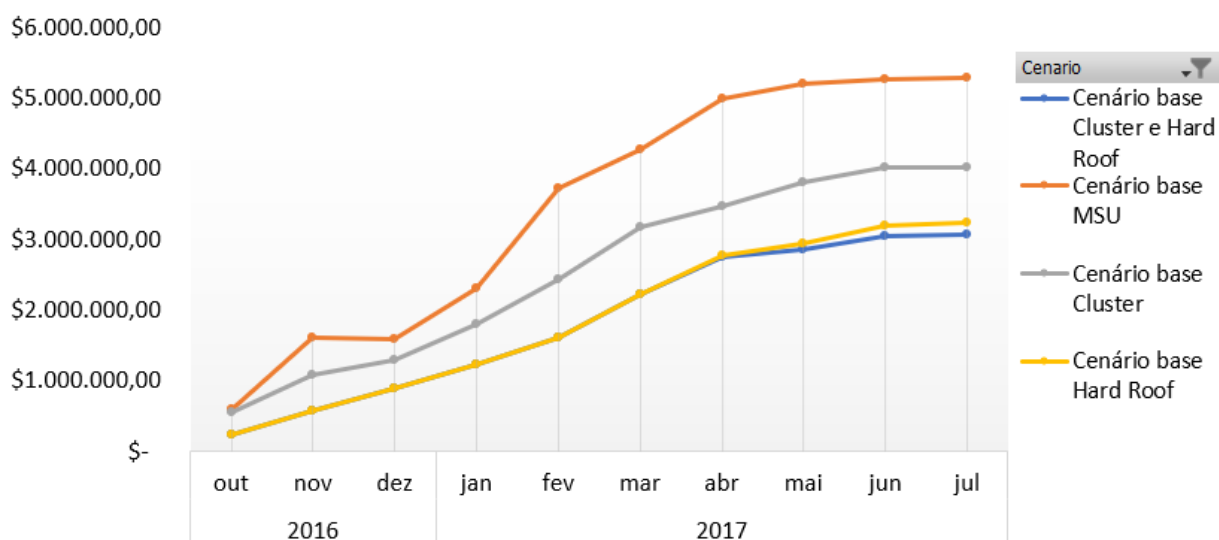
5.2.5 Cenários

Ao longo do estudo, elaboração e simulação dos modelos, o cenário de *cluster* e *hard roof* foi apresentado como uma solução mista, de forma a permitir, através do modelo, a escolha da combinação de instalações mais vantajosa. No entanto, é possível que os tomadores de decisão optem pela adoção de apenas uma modalidade de armazenagem.

Dessa forma, a Figura 34 apresenta isoladamente os resultados de custo obtidos para cada alternativa cogitada, considerando os dados de ocupação. É possível notar que

há uma redução de quase 50% do custo final, quando se contrastam os cenários MSU e misto de *cluster* e *hard roof*. Como para esses dados a solução mista já considerava apenas a abertura do armazém de Erbil nos meses iniciais, os valores de custo estão muito próximos da solução obtida apenas quando *hard roofs* são adotados. Ainda que a utilização da opção de MSU em *cluster* seja mais cara, ainda assim ela apresenta uma redução de custo de cerca de 25% da modalidade de MSU individual.

Figura 34 - Gráfico de variação de custo em função do frete para o cenário individual *cluster* versus *hard roof*, plots ocupados

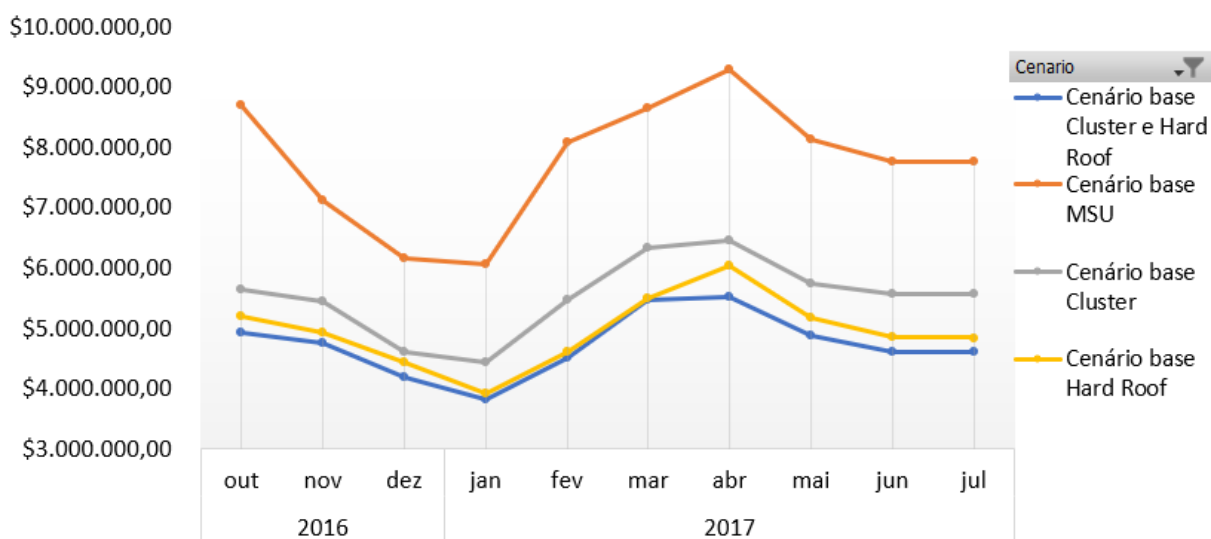


Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 35, da mesma forma, busca discriminar a variação do custo total em função de cada alternativa. Nesse caso é possível observar a aproximação da modalidade de *cluster* do custo ótimo obtido no cenário misto, apresentando oportunidade de redução de 28% do valor quando comparado à modalidade de MSU empregada atualmente.

Novamente o cenário de *hard roof* aproxima-se consideravelmente da solução mista, ambos apresentando uma diminuição do custo da alternativa original de MSU em cerca de 37%.

Figura 35 - Gráfico de variação de custo em função do frete para o cenário individual *cluster* versus *hard roof*, plots planejados



Fonte: Elaborado pelo autor

5.3 LIMITAÇÕES DO MODELO

Após a obtenção dos resultados, é válida a ponderação acerca das limitações do modelo conforme foi construído. Apesar do cenário misto de *cluster* e *hard roof* (ou mesmo como opções isoladas) apresentar grandes vantagens dentro dos parâmetros de custo, é necessário destacar que o modelo não considera um dos importantes fatores para o impedimento de centralização dos armazéns: as dificuldades políticas e gerenciais que envolvem a gestão de uma instalação compartilhada por diversas organizações. Cada uma delas possui seus próprios processos, regulamentos e burocracias para o funcionamento, fator complexo para ser analisado de forma objetiva em um modelo matemático.

Além disso, a escolha por MSU individuais por campo aparece como uma alternativa rápida e pouco dependente de articulações com outras organizações. No caso de um armazém de alvenaria, por exemplo, existe certo tempo de abertura envolvido, e a incapacidade de incremento de espaço de armazenagem em alguns locais, sendo necessária a locação de outro armazém em caso de aumento da demanda. Na condição de MSU, basta adicionar um novo conjunto ao lado do original para ampliar a capacidade de armazenagem.

Outra limitação do modelo é não abranger custos de mudança considerando um período anterior, visto que o objetivo foi gerar a análise para compreender a solução matematicamente otimizada de cada momento. No entanto, essa consideração pode gerar resultados bastante distintos daqueles observados no recorte por mês.

As restrições de tempo médio e pontos de gargalo foram aplicadas para valores médios ponderados pela demanda, mas também seria possível estudar uma condição para que nenhuma rota individual ultrapasse um valor limite determinado, por exemplo.

5.4 PRINCIPAIS RESULTADOS GLOBAIS DO MODELO

Os principais resultados que podem ser extrapolados para uma abordagem mais global do problema de localização de Mossul são as oportunidades de redução de custo com a adoção de opções de centralização de instalações, tanto ao observar a demanda realista de ocupação quanto a expectativa total planejada. Isso pode ser resultado da eliminação de armazéns dispersos com capacidade subutilizada em diversos campos. Além disso, a centralização permite com maior facilidade a transição para abastecer um campo em necessidade a um raio de distância maior.

Mesmo que os tomadores de decisão optem por não adotar o cenário misto em função da dificuldade gerencial de manter os dois modelos, é possível afirmar que a adoção de *hard roofs* se mostrou mais próxima dos resultados financeiros da solução mista. Ainda assim, o modelo de MSU de *clusters* é muito mais compatível com a política atual e, caso seja determinada a adoção dessa alternativa, é possível garantir economia de custos se comparada ao panorama atual, mesmo considerando a diferença relativamente inferior ao cenário misto otimizado.

Outro fator que contribui para a consideração da adoção do cenário misto com *clusters* e armazéns de alvenaria foi o resultado de baixa amplitude de oscilação do custo por *plots* conforme a alteração da demanda dos meses, fazendo com que essa alternativa seja vantajosa para estimativa de orçamentos.

Tendo em vista que a localização de um armazém de alvenaria na cidade de Erbil foi a principal escolha em todos os períodos analisados, recomendar-se-ia a adoção do local como distribuidor prioritário de suprimentos. Como foi possível observar nas diversas iterações, o local foi escolhido e complementado com outros locais conforme a demanda evoluía no tempo.

Além disso, aparecem como escolhas frequentes instalações secundárias para atendimento dos campos: o estabelecimento de um *cluster* em Qayyarah, região que apresentou grande concentração de *plots* e a abertura de outro armazém de alvenaria na cidade de Tirkīt.

Embora tenha sido observado que, para o caso de Mossul, as restrições de pontos de gargalo e tempo foram minimizadas juntamente com a distância, é importante ressaltar que a restrição é relevante para gerir aspectos de nível de serviço e simular o abastecimento em condições ainda mais adversas.

Logo, é possível afirmar que o propósito pretendido com a execução do estudo foi atingido, uma vez que os resultados permitiram quantificar e apontar de maneira objetiva a vantagem da centralização, em função de parâmetros que podem ser alterados conforme diversas situações. Além disso, foi possível avaliar a variação dos resultados conforme os cenários e indicar aquele com menor variação dos custos, mesmo com a oscilação da demanda.

CONCLUSÕES

Partindo de modelos clássicos de escolha de localização de armazéns habituais da literatura, foi possível realizar a adaptação para as particularidades da aplicação em uma intervenção logística humanitária.

Analisando de forma estática e determinística o problema de localização de instalações para a operação logística de resposta à ofensiva de Mossul, foi possível observar padrões de escolhas do modelo matemático e tendências relevantes para o contexto de armazenagem e distribuição de suprimentos humanitários.

Ao contrastar a opção de armazéns MSU individuais para cada campo com alternativa de concentrar os MSU em *clusters* juntamente com armazéns de alvenaria, foi constatada a oportunidade de significativa redução de custo proporcionada pela centralização das instalações. O resultado foi mantido com pouca variação, mesmo ao observar os dados de ocupação, além da demanda total planejada.

Considerando que o modelo possui limitações e estimativas de parâmetros, são sugeridos estudos posteriores mais aprofundados para ampliar a possibilidade de implementação e adaptação para cada contexto, em função das incertezas e variáveis que podem afetar a escolha de instalações. Uma aplicação relevante seria o desenvolvimento de um modelo interativo, no qual os próprios tomadores de decisão sejam capazes de alterar as premissas e, dessa forma, incluir a ponderação dos aspectos políticos e gerenciais de acordo com as restrições apresentadas no momento.

APÊNDICE A – PROGRAMA *PYTHON GUROBI*/CENÁRIO *CLUSTER/HARD ROOF*

```

from gurobipy import *
import csv

n=3
HUB=range(n)
mq=24
FACILITY=range(mq)
CAMP=range(66)
FAC_TYPE=range(12)
continueiteration = 1
while continueiteration == 1:
    m=Model("Mosul Case")
    ### Menu
    print("==== Choose type of data ==== \n1. Planned \n2. Occupied \n3. Available \n4. Total Planned")
    typedata = int(input("Option: "))
    print("==== Choose period ==== \n1. Oct/16 \n2. Nov/16 \n3. Dec/16 \n4. Jan/17 \n5. Feb/17 \n6. Mar/17 \n7. Apr/17 \n8. May/17 \n9. Jun/17 \n10. Jul/17")
    period = int(input("Option: "))
    print("==== Choose type of freight to camp ==== \n1. 2 MT \n2. 4 MT \n3. 8 MT \n4. 10 MT \n5. 20 MT")
    typefreight = int(input("Option: "))
    print("==== Choose type of freight to facility ==== \n1. 2 MT \n2. 4 MT \n3. 8 MT \n4. 10 MT \n5. 20 MT")
    typefreighthub = int(input("Option: "))
    umax = float(input("Value of max checkpoints: "))
    tmax = float(input("Value of max time: "))
    FS = 1.5
    veloc= 40
    velochub = 50
    #####
    if typedata == 1:
        plots = planned[period - 1]
    elif typedata == 2:
        plots = occupied[period - 1]
    elif typedata == 3:
        plots = available[period - 1]
    elif typedata == 4:
        plots = totalplan[period - 1]
    freight = MT_CAMP[typefreight - 1]
    freighthub = MT_HUB[typefreighthub - 1]
    #####decision variables
    #camp i will be supplied by facility j, Y binary

```

```

Y=[]
for i in CAMP:
    Y.append([])
    for j in FACILITY:
        Y[i].append(m.addVar(vtype=GRB.BINARY, name="Y_%d_%d" % (i,j)))
#facility j will be supplied by hub c, W binary
W=[]
for j in FACILITY:
    W.append([])
    for c in HUB:
        W[j].append(m.addVar(vtype=GRB.BINARY, name="W_%d_%d" % (j,c)))
#facility type k will be placed at facility j, X binary
X=[]
for k in FAC_TYPE:
    X.append([])
    for j in FACILITY:
        X[k].append(m.addVar(vtype=GRB.BINARY, name="X_%d_%d" % (k,j)))
#quantity supplied from hub c to each facility j
QTD=[]
for j in FACILITY:
    QTD.append([])
    for c in HUB:
        QTD[j].append(m.addVar(name="QTD_%d_%d" % (j,c)))

#####Constraints
#1. each camp has 1 facility (29)
for i in CAMP:
    if plots[i] == 0:
        m.addConstr(sum(Y[i][j] for j in FACILITY)==0)
    else:
        m.addConstr(sum(Y[i][j] for j in FACILITY)==1)
#2. each facility has 1 hub (30)
for j in FACILITY:
    m.addConstr(sum(W[j][c] for c in HUB)-sum(X[k][j]*a[k*mq+j] for k in range (1, 12))==0)
#3. each facility j has 1 type of facility k (31)
for j in FACILITY:
    m.addConstr(sum(X[k][j]*a[k*mq+j] for k in FAC_TYPE)==1, name="C3")
#4. Open facility (32)
for i in CAMP:
    for j in FACILITY:

```

```

        m.addConstr((Y[i][j]-sum(X[k][j]*a[k*mj+j] for k in range (1, 12))<=0))

#5. Only allows quantity from c to j if c is the supplier of j (33)
for j in FACILITY:
    for c in HUB:
        m.addConstr(QTD[j][c]-M*W[j][c]<=0)

#6. facility must respect capacity (34)
for j in FACILITY:
    m.addConstr(sum(plots[i]*FS*Q*Y[i][j] for i in CAMP)-sum(X[k][j]*a[k*mj+j]*C[k] for k in FAC_TYPE)<=0)

#7. QTD from hub equals outcomes from facility j (35)
for j in FACILITY:
    m.addConstr(sum(QTD[j][c] for c in HUB)-sum(Y[i][j]*plots[i]*FS for i in CAMP)==0)

##8. block ij if i is outside of cluster j (36)
for i in CAMP:
    for j in FACILITY:
        m.addConstr(Y[i][j]-ok[i*mj+j]<=0)

#checkpoints (37)
m.addConstr(sum(sum(plots[i]*FS*Y[i][j]*u[i*mj+j] for j in FACILITY) for i in CAMP)/(sum(plots[i]*FS for i in CAMP))
+ sum(sum(QTD[j][c]*W[j][c]*uhub[j*n+c] for c in HUB) for j in FACILITY)/(sum(plots[i]*FS for i in CAMP)) - umax <= 0)

#leadtime
m.addConstr(sum(sum(plots[i]*FS*Y[i][j]*dist[i*mj+j]/veloc for j in FACILITY) for i in CAMP)/(sum(plots[i]*FS for i in
CAMP))+sum(sum(QTD[j][c]*W[j][c]*disthub[j*n+c]/velochub for c in HUB) for j in FACILITY)/(sum(plots[i]*FS for i in CAMP))-
tmax <= 0)

#cost
custo = sum(sum(6*plots[i]*FS*freight[i*mj+j]*Q*Y[i][j] for j in FACILITY)for i in CAMP) +
sum(sum(fixed_cost[k]*X[k][j] for k in FAC_TYPE) for j in FACILITY) + sum(sum(6*QTD[j][c]*freighthub[j*n+c]*Q*W[j][c] for c in
HUB)for j in FACILITY)

m.setObjective(custo, GRB.MINIMIZE)

m.optimize()

try:
    campcost = sum(sum(6*plots[i]*FS*freight[i*mj+j]*Q*Y[i][j].x for j in FACILITY)for i in CAMP)
    fixcost = sum(sum(fixed_cost[k]*X[k][j].x for k in FAC_TYPE) for j in FACILITY)
    hubcost = sum(sum(6*QTD[j][c].x*freighthub[j*n+c]*Q*W[j][c].x for c in HUB)for j in FACILITY)
    cpcamp = sum(sum(plots[i]*FS*Y[i][j].x*u[i*mj+j] for j in FACILITY) for i in CAMP)/(sum(plots[i]*FS for i in
CAMP))
    cphub = sum(sum(QTD[j][c].x*W[j][c].x*uhub[j*n+c] for c in HUB) for j in FACILITY)/(sum(plots[i]*FS for i in
CAMP))
    tcamp = sum(sum(plots[i]*FS*Y[i][j].x*dist[i*mj+j]/veloc for j in FACILITY) for i in CAMP)/(sum(plots[i]*FS for i in
CAMP))
    thub = sum(sum(QTD[j][c].x*W[j][c].x*disthub[j*n+c]/velochub for c in HUB) for j in FACILITY)/(sum(plots[i]*FS for
i in CAMP))

    with open('resultinteractive.csv', 'a', newline='') as f:
        fieldnames = ([ 'iteration', 'typedata', 'period', 'typefreight', 'typefreighthub', 'umax', 'tmax', 'veloc', 'velochub', 'FS',
'Variável', 'i', 'j', 'c', 'k', 'Valor'])

```

```

writing=csv.DictWriter(f, fieldnames = fieldnames)

writing.writeheader()

iteration = input("Name simulation version: ")

try:

    for i in CAMP:

        for j in FACILITY:

            if Y[i][j].x > 0.001:

                writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub,
'FS': FS, 'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'i': i, 'j': j, 'Variável' :
"Yij", 'Valor' : Y[i][j].x})

            for j in FACILITY:

                for c in HUB:

                    if W[j][c].x > 0.001:

                        writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub, 'FS': FS,
'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'c': c, 'j': j, 'Variável' : "Wjc",
'Valor' : W[j][c].x})

                    for j in FACILITY:

                        for c in HUB:

                            if QTD[j][c].x > 0.001:

                                writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub, 'FS': FS,
'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'c': c, 'j': j, 'Variável' : "QTDjc",
'Valor' : str(QTD[j][c].x)})

                            for k in FAC_TYPE:

                                for j in FACILITY:

                                    if X[k][j].x > 0.001 and k > 0:

                                        writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub, 'FS': FS,
'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'k': k, 'j': j, 'Variável' : "Xkj",
'Valor' : X[k][j].x})

                                        writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub, 'FS': FS,
'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'Variável' : "campcost", 'Valor' :
campcost})

                                        writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub, 'FS': FS,
'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'Variável' : "fixcost", 'Valor' :
fixcost})

                                        writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub, 'FS': FS,
'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'Variável' : "hubcost", 'Valor' :
hubcost})

                                        writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub, 'FS': FS,
'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'Variável' : "totalcost", 'Valor' :
hubcost+fixcost+campcost})

                                        writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub, 'FS': FS,
'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'Variável' : "cpcamp", 'Valor' :
cpcamp})

                                        writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub, 'FS': FS,
'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'Variável' : "cphub", 'Valor' :
cphub})

                                        writing.writerow({'iteration': iteration, 'typedata': typedata, 'veloc': veloc, 'velochub': velochub, 'FS': FS,
'period': period, 'typefreight': typefreight, 'typefreighthub': typefreighthub, 'umax': umax, 'tmax': tmax, 'Variável' : "cptotal", 'Valor' :
cpcamp+cphub})

```

```

        writing.writerow({'iteration' : iteration, 'typedata': typedata, 'veloc':veloc, 'velochub':velochub, 'FS':FS,
'period':period, 'typefreight':typefreight, 'typefreighthub':typefreighthub, 'umax':umax, 'tmax': tmax,'Variável' : "tcamp", 'Valor' :
tcamp})

```

```

        writing.writerow({'iteration' : iteration, 'typedata': typedata, 'veloc':veloc, 'velochub':velochub, 'FS':FS,
'period':period, 'typefreight':typefreight, 'typefreighthub':typefreighthub, 'umax':umax, 'tmax': tmax,'Variável' : "thub", 'Valor' :
thub})

```

```

        writing.writerow({'iteration' : iteration, 'typedata': typedata, 'veloc':veloc, 'velochub':velochub, 'FS':FS,
'period':period, 'typefreight':typefreight, 'typefreighthub':typefreighthub, 'umax':umax, 'tmax': tmax,'Variável' : "ttotal", 'Valor' :
tcamp+thub})

```

```

    except:

```

```

        writing.writerow({'iteration' : iteration, 'typedata': typedata, 'veloc':veloc, 'velochub':velochub, 'FS':FS,
'period':period, 'typefreight':typefreight, 'typefreighthub':typefreighthub, 'umax':umax, 'tmax': tmax,'Variável' : "solution", 'Valor' :
"unfeasible"})

```

```

    try:

```

```

        continueiteration = int(input("Type 1 to simulate again: "))

```

```

    except:

```

```

        break

```


REFERÊNCIAS

- ADEMIGBUJI, Adedeji. Kachalla: **Setting up Mobile Storage Units is part of fighting hunger**. World Food Programme Insight. 2018. Disponível em: <<https://insight.wfp.org/kachalla-setting-up-mobile-storage-units-is-part-of-fighting-hunger-56edb0eb00b5>>. Acesso em 18 set. 2018.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Tradução de Raul Rubenich. Porto Alegre: Ed Bookman, 2006.
- BBC. **How the battle for Mosul unfolded**. BBC News, 10 jul. 2017. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/world-middle-east-37702442>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- BOONMEE, C., ARIMURA, M., & ASADA, T. **Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics**. International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 24, 2017, p. 485-498. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420916302576>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- CAMP COORDINATION AND CAMP MANAGEMENT. **NFI Kits**. Nigeria, 29 nov. 2017. Disponível em: <<https://www.humanitarianresponse.info/en/operations/nigeria/shelter/nficccm-strategic-technical-guidance>>. Acesso em: 30 set. 2018.
- CAO, S. ZHANG, X., GUO, X., WANG, P.; DENG, B. **Research on Location Planning for Emergency Logistics Centers Faced with Earthquake Disasters**. International Forum on Shipping, Ports and Airports. Hong Kong, 2012. Disponível em: <<https://www.polyu.edu.hk/lms/icms/ifspa2012/Papers/L16.pdf>>. Acesso em 29 set. 2018.
- DASKIN, M. S. **Network and Discrete Location – models, algorithms and applications**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1995.
- ERTEM, M; Buyurgan, N.; Rossetti, M. D. **Multiple-buyer procurement auctions framework for humanitarian supply chain management**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 40, No. 3, p. 202-227, 2010. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/228415061>>. Acesso em 30 set. 2018.
- ESPINOSA, A. **Começa a ofensiva militar para libertar Mosul, no Iraque, do Estado Islâmico**. El País, 17 out. 2016. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2016/10/17/internacional/1476665728_076754.html>. Acesso em: 15 set. 2018.
- FRANCISCHINI, P. **Dimensionamento de CD**. São Paulo: Epusp, 2016. 2p. Apostila de exercícios para disciplina de graduação do Departamento de Engenharia de Produção, PRO2420 - Projeto da Fábrica.
- FEMA. **The Four Phases of Emergency Management**. 2001. Disponível em: <https://training.fema.gov/emiweb/downloads/is10_unit3.doc>. Acesso em 29 set. 2018.

- GIBBONS-NEFF, T. et al. **Battle of Mosul: How Iraqi forces defeated the Islamic State.** The Washington Post, 10 jul. 2017. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/graphics/2017/world/battle-for-mosul/?noredirect=on&utm_term=.20e0b104ff6c>. Acesso em: 15 set. 2018.
- HOVHANESSIAN, Margaret. **Coordination Barriers between Humanitarian Organizations and Commercial Agencies in times of Disaster.** 2012. 77 p. Dissertação (mestrado) - Jönköping University, Jönköping International Business School. (Humanitarian Logistics and Supply Chain Management), Jönköping, 2012. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:582204/FULLTEXT02.pdf>>. Acesso em 15 set. 2018.
- INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS AND RED CRESCENT SOCIETIES. **Standart Products Catalogue.** Disponível em: <<http://itemscatalogue.redcross.int/food-and-livelihood--3.aspx>>. Acesso em 30 set. 2018.
- JAHRE, M.; JENSEN L. **Coordination in humanitarian logistics through clusters.** International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 40, 2010, p. 657-674, Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/243463010_Coordination_in_humanitarian_logistics_through_clusters>. Acesso em 15 set. 2018.
- JAHRE, M.; KEMBRO, J.; REZVANIAN, T.; ERGUN, O.; HÅPNES, S. J.; & BERLING, P. **Integrating supply chains for emergencies and ongoing operations in UNHCR.** Journal of Operations Management, 45, 2016, p. 57–72. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272696316300444>>. Acesso em 15 set. 2018.
- LIMA, F.; MEDEIROS, H E GONÇALVES, M. **Clusters na cadeia de fornecimento humanitária: o centro conjunto de logística das nações unidas - UNJLC.** XXV Anpet, Belo Horizonte, 2011. < https://www.researchgate.net/profile/Mirian_Goncalves/publication/268291527_CLUSTERS_NA_CADEIA_DE_FORNECIMENTO_HUMANITARIA_O_CENTRO_CONJUNTO_DE_LOGISTICA_DAS_NACOES_UNIDAS_UNJLC/links/551ab2610cf2bb754076cc93/CLUSTERS-NA-CADEIA-DE-FORNECIMENTO-HUMANITARIA-O-CENTRO-CONJUNTO-DE-LOGISTICA-DAS-NACOES-UNIDAS-UNJLC.pdf >. Acesso em 15 set. 2018.
- LOGISTICS CLUSTER. **Concept of Operations - Mosul, 28 June 2017.** 28 jun. 2017. Disponível em: <<https://logcluster.org/document/concept-operations-mosul-28-june-2017>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- LOGISTICS CLUSTER. **Iraq - Operation Overview Infographic, January - June 2017.** 20 jul. 2017. <<https://logcluster.org/document/iraq-operation-overview-infographic-january-june-2017>>. Acesso em: 16 set. 2018.
- LOGISTICS CLUSTER. **Iraq Concept of Operations, 7 November 2017.** 07 nov. 2017. <<https://logcluster.org/document/iraq-concept-operations-7-november-2017>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- LOGISTICS CLUSTER. **Snapshot - MSU Assemblage Training in Mali.** 04 out. 2012. Disponível em: <https://logcluster.org/sites/default/files/documents/snapshot_msu_assemblage_training_in_mali>. Acesso em 18 set. 2018.

- LOGISTICS CLUSTER. **The Logistics Cluster Bolsters Ongoing Humanitarian Response in Fiji with Mobile Storage Units.** 15 abr. 2016. Disponível em: <<https://logcluster.org/blog/logistics-cluster-bolsters-ongoing-humanitarian-response-fiji-mobile-storage-units>>. Acesso em 18 set. 2018.
- LOGISTICS CLUSTER. **Warehouse management in emergencies training - participant workbook.** 18 dez. 2016. Disponível em: <https://logcluster.org/sites/default/files/training_files/workbook_wme.pdf>. Acesso em 18 set. 2018.
- LOGISTICS CLUSTER. **Warehousing and Inventory Management.** 2015. Disponível em: <<https://dlca.logcluster.org/display/LOG/Warehousing+and+Inventory+Management>>. Acesso em 30 set. 2018.
- NAÇÕES UNIDAS. **International Organization for Migration. Mosul Crisis Population Movement Analysis October 2016 to June 2017.** 08 nov. 2017. Disponível em: <<http://iraqdtm.iom.int/Downloads/DTM%20Emergency%20Tracking/Mosul%20Crisis/0-%20Mosul%20Crisis%20Report/DTM%20ET%20Mosul%20Crisis%20Report%20July%202017.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- NAÇÕES UNIDAS. **Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. Iraq: Mosul Humanitarian Response Situation Report #1.** 20 out. 2016. Disponível em: <https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/ochairaqmosulhumanitariansituationreport1_final.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.
- NOGUEIRA, C. W.; GONÇALVES, M. B. E NOVAES A. G. **A logística humanitária e medidas de desempenho: A perspectiva da cadeia de assistência humanitária.** Artigo. Anais do XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Novembro. Fortaleza. 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Mirian_Goncalves/publication/265976620_A_LOGISTICA_HUMANITARIA_E_MEDIDAS_DE_DESEMPENHO_A_PERSPECTIVA_DA_CADEIA_DE_ASSISTENCIA_HUMANITARIA/links/551ab2630cf2fdce8436972d.pdf>. Acesso em 15 set. 2018.
- NRS RELIEF. **Rex Hall Series.** 2017. Disponível em: <http://www.nrsrelief.com/wp-content/uploads/2017/07/NRS-Relief-RexHall-Series-2017_Brochure_Spreads.pdf>. Acesso em 30 set. 2018.
- REACH. **Quarterly IDP Camp Directory Comparative Dashboard & Camp Profiles IRAQ April 2016.** 16 jun. 2016. Disponível em: <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/reach_irq_factsheet_comparative_directory_april2016_compress.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.
- RED CROSS. **A Logistics handbook for disaster preparedness and response.** 2012. Disponível em: <<https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/Logistics%20Handbook%20French%20Red%20Cross.pdf>>. Acesso em 29 set. 2018.
- REUTERS. **Milícias xiitas se unem à ofensiva contra EI em Mossul, no Iraque.** Folha de S. Paulo, 29 out. 2016. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mundo/2016/10/1827584-milicias-xiitas-se-unem-a-ofensiva-contrai-ei-em-mossul-no-iraque.shtml>>. Acesso em: 15 set. 2018.

- ROSALITO. **Ficha Técnica de Produto**. 01 mai 2014. Disponível em: <<http://www.rosalito.com.br/images/produtos/ficha/Arroz-Rosalito-Tradicional.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2018.
- SCHULZ S.F. **Disaster relief logistics: benefits of and impediments to cooperation between humanitarian organizations**. 2008. 266 p. Tese (doutorado) - Technische Universität Berlin, Fakultät VII - Wirtschaft und Management, Berlin 2009. Disponível em: <https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/2383/2/Dokument_41.pdf>. Acesso em 15 set. 2018.
- SPHERE. **Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response**. Reino Unido, 2011. Disponível em: <<http://www.spherestandards.org/humanitarian-standards/>>. Acesso em 29 set. 2018.
- UNICEF. **Iraq | RRM Post Distribution Monitoring Report - September 2017**. 24 set. 2017. Disponível em: <<https://www.humanitarianresponse.info/en/operations/iraq/document/iraq-rrm-post-distribution-monitoring-report-september-2017>>. Acesso em 29 set. 2018.
- UNITED NATIONS. **Key Figures**. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. Disponível em: <<http://www.unocha.org/myanmar>>. Acesso em 02 nov. 2018.
- UNITED NATIONS. **Humanitarian Bulletins**. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. 2018. Disponível em: <<https://www.unocha.org/iraq>>. Acesso em 29 set. 2018.
- WORLD FOOD PROGRAMME. **Situation Report #26 15 September 2015**. 2015. Disponível em: <<https://www.wfp.org/content/iraq-situation-report-26-15-september-2015>>. Acesso em 29 set. 2018.
- WORLD POPULATION REVIEW. **Population of Cities in Iraq (2018)**. 2018. Disponível em: <<http://worldpopulationreview.com/countries/iraq-population/cities/>>. Acesso em 29 set. 2018.