

ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE UMA REDE LOGÍSTICA: O CASO DE UMA EMPRESA DE ALUGUÉIS DE CAMINHÕES E GUINDASTES NO RIO DE JANEIRO

Fernando Coutinho da Costa Fernando Henrique Gonzalez da Silva

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Vinícius Carvalho Cardoso, D.Sc.

Rio de Janeiro Março de 2015

ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE UMA REDE LOGÍSTICA: O CASO EM UMA EMPRESA DE ALUGUÉIS DE CAMINHÕES E GUINDASTES NO RIO DE JANEIRO

Fernando Coutinho da Costa Fernando Henrique Gonzalez da Silva

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO.

parameter 1		
-var		0000
	inado	111111
_/\		\sim \sim \sim

Prof. Vinicius Carvalho Cardoso, D.Sc.

Prof. Amanido da Cruz Fernandes, D.Sc.

Prof. Virgílio Jose Martins Ferreira Filho, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL MARÇO DE 2015 Costa, Fernando Coutinho da; Silva, Fernando Henrique Gonzalez da

Estudo de localização de uma Rede Logística: O caso de uma empresa de aluguéis de caminhões e guindastes no Rio de Janeiro – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2015.

XII, 79 p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Vinícius Carvalho Cardoso

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia de Produção, 2015.

Referências Bibliográficas: p.71 - 72.

- 1. Planejamento de Rede Logística. 2. Localização. 3. Aluquel de veículos.
- I. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia de Produção. II. Estudo de localização de uma Rede Logística: O caso de uma empresa de aluguéis de caminhões e guindastes no Rio de Janeiro

À família e aos amigos, por todo o companheirismo e carinho iv

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, gostaríamos de agradecer às nossas famílias, por todo o apoio que nos foi dado. Suas presenças serviram de base para tudo que construímos até hoje.

Gostaríamos de agradecer a todos os professores que participaram da nossa formação, tanto aos que lecionaram temas diretamente relacionados com o assunto deste projeto quanto aos demais.

Agradecimento também para o nosso orientador, prof. Vinícius Cardoso, que nos auxiliou na realização deste projeto em todas as dificuldades. Agradecimento também aos professores Virgílio e Amarildo, que compuseram a banca, por colaborar com discussões ricas acerca deste projeto.

Aos nossos amigos, que nos acompanharam durante todo este tempo. Ter estudado ao lado de pessoas tão boas e capazes certamente contribuiu para o nosso desenvolvimento. Isto nos faz crer que os estudantes são parte fundamental da instituição de ensino, não apenas de maneira passiva, mas de maneira ativa, ajudando a construir o conhecimento.

Por fim, agradecemos a todos que acompanharam o desenvolvimento deste trabalho de alguma forma.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte

dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE UMA REDE

LOGÍSTICA: O CASO DE UMA EMPRESA DE ALUGUÉIS

DE CAMINHÕES E GUINDASTES NO RIO DE JANEIRO

Fernando Coutinho da Costa

Fernando Henrique Gonzalez da Silva

Março/2015

Orientador: Vinícius Carvalho Cardoso

Curso: Engenharia de Produção

De modo a estudar os efeitos que as definições na rede logística têm sob as despesas

de uma empresa, este projeto consiste em analisar a presente operação de uma

empresa de serviços que aluga veículos especializados em içamento e transporte de

cargas. Através da adaptação de um modelo clássico de localização de instalações que

desconsidera os custos de manutenção de estoque, o presente documento tem como

objetivos responder qual o número de estacionamentos, onde devem ser localizados

estes estacionamentos e quais regiões serão atendias por cada estacionamento de

forma a minimizar o custo total da operação.

Palavras-chave: Planejamento de Rede Logística, Localização, Aluguel de Veículos

νi

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of

the requirements for the degree of Industrial Engineer.

LOCATION STUDY OF A LOGISTICS NETWORK: A

CASE ON A TRUCKS AND CRANES RENTAL

COMPANY IN RIO DE JANEIRO.

Fernando Coutinho da Costa

Fernando Henrique Gonzalez da Silva

March/2015

Advisor: Vinícius Carvalho Cardoso

Course: Industrial Engineering

In order to study the effects that the logistics network design has under the expenses of

a company, this project consists in analyzing the present operation of a service company

that rents specialized vehicles for lifting and transport loads. By adapting a classic model

of location of facilities that disregards the inventory carrying costs, this paper aims to

answer what is the optimal number of parking lots for the operation, where these parking

lots should be located and which regions will be served by each parking lot in order to

minimize the total cost of the operation.

Keywords: Logistics Network Planning, Location Problem, Vehicles Rental

vii

SUMÁRIO

1.	INT	RODUÇÃO	1
1	1.1.	APRESENTAÇÃO	1
1	1.2.	A EMPRESA	2
1	1.3.	MOTIVAÇÃO E OBJETIVO DO PROJETO	4
2.	ME	TODOLOGIA	9
3.	SIT	UAÇÃO ATUAL	.11
3	3.1.	ANÁLISES DE VENDA E MAPEAMENTO DA DEMANDA	.12
3	3.2.	DIAGRAMA DE INTERLIGAÇÕES PREFERENCIAIS	24
3	3.3.	CUSTO TOTAL ATUAL	26
4.	MO	DELAGEM	37
2	l .1.	Introdução	.37
2	1.2.	O MODELO	39
2	1.3.	CONSIDERAÇÕES AO USO DO MODELO	41
2	1.4.	O AIMMS	46
	4.4.	1. Obtenção de dados	46
5.	RE	SULTADOS	52
5	5.1.	CENÁRIO 1 – SEM RESTRIÇÕES AO NÚMERO DE INSTALAÇÕES	52
	5.1.1	 Custos do Cenário 1 - Sem restrições ao número de instalações. 	54
	5.1.2	2. Diagrama de Interligações Preferenciais	56
5	5.2.	CENÁRIO 2 – COM RESTRIÇÃO AO NÚMERO DE INSTALAÇÕES	58
	5.2.	1. Custos do Cenário 2 - Com restrição ao número de instalações	60
	5.2.2	2. Diagrama de Interligações Preferenciais	62
5	5.3.	RESUMO COMPARATIVO	64
6.	CO	NCLUSÃO	68
7.	REI	FERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
8.	AN	EXOS	74
8	3.1.	PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE UM SERVIÇO DA TRUCK COMPANY	74
8	3.2.	MODELAGEM EM AIMMS	75
۶	3 3	LITILIZAÇÃO DO GOOGLE DIRECTIONS API	77

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – (À esquerda) Total e Média de serviços por tipo de veículo. Fonte Elaboração Própria14
Tabela 2 – (À Direita) Classificação ABC dos municípios. Fonte: Elaboração Própria17
Tabela 3 – (À Direita) Classificação ABC dos bairros da cidade do Rio. Fonte Elaboração Própria21
TABELA 4 – TABELA DE DRIVERS DE CUSTO. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA33
Tabela 5 – Consumo médio dos diferentes tipos de carros. Fonte: Elaboração Própria
Tabela 6 – Distâncias totais gastos na situação atual. Fonte: Elaboração Própria34
Tabela 7 – Sumário de custos operacionais para os Pátios na situação atual Fonte: Elaboração Própria
Tabela 8 – Sumário de custos de layout para os Pátios na situação atual. Fonte Elaboração Própria35
Tabela 9 – Lista de nós de demanda do modelo, e seus respectivos valores de demanda. Fonte: Elaboração Própria
Tabela 10 – Lista de nós de demanda de retorno do modelo, e seus respectivos valores de demanda. Fonte: Elaboração Própria
Tabela 11 – Valores de m² por localidade, e os seus respectivos aluguéis relativos a uma área de 10.000m². Fonte: Elaboração Própria 49
TABELA 12 – MATRIZ DE DISTÂNCIA ENTRE O NÓ DE DEMANDA E O NÓ DE LOCALIDADE. FONTE ELABORAÇÃO PRÓPRIA
Tabela 13 – Matriz de distância entre o nó de demanda de retorno e o nó de localidade. Fonte: Elaboração Própria
Tabela 14 – Porcentagem de utilização dos pátios em relação a demanda, no Cenário 1. Fonte: Elaboração Própria
Tabela 15 – Distâncias totais gastos no Cenário 1. Fonte: Elaboração Própria 54
TABELA 16 – CUSTOS DE OPERAÇÃO NO CENÁRIO 1. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA 54
Tabela 17 – Custo de Instalação no Cenário 1. Fonte: Elaboração Própria 55

Tabela 18 – Porcentagem de utilização dos pátios em relação a demanda, no Cenário 2. Fonte: Elaboração Própria
Tabela 19 – Distâncias totais gastos no cenário 2. Fonte: Elaboração Própria 60
Tabela 20 – Custos de operação no Cenário 2. Fonte: Elaboração Própria 60
Tabela 21 – Custos de instalação no Cenário 2. Fonte: Elaboração Própria 61
Tabela 22 – Tabela comparativa entre a situação atual, e os cenários. Fonte: Elaboração Própria
Tabela 23 – Resumo dos resultados encontrados. Fonte: Elaboração Própria 69

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – CARRETA DO TIPO PRANCHA. FONTE: LOCADORAIRIGARAY.COM.BR2
FIGURA 2 – CAMINHÃO MUNCK. FONTE: SILVARADAR.COM.BR
FIGURA 3 – GUINDASTE. FONTE: CHINATRUCKS.COM.PT
FIGURA 4 — COMPORTAMENTO DOS CUSTOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE ARMAZÉNS. FONTE: ADAPTADO DE (FLEURY, ET AL., 2003)6
FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO DA FROTA NOS PÁTIOS. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA11
FIGURA 6 – <i>MIX</i> POR TIPO DE SERVIÇO. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA12
FIGURA 7 – EVOLUÇÃO POR TIPO DE VEÍCULO. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA13
FIGURA 8 – (À DIREITA) PARTICIPAÇÃO NAS VENDAS POR TIPO DE VEÍCULO. FONTE ELABORAÇÃO PRÓPRIA14
FIGURA 9 – ANÁLISE PXQ POR UF. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA
FIGURA 10 – DIVISÃO DO ESTADO DO RIO EM REGIÕES. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA 16
FIGURA 11 – ANÁLISE PXQ POR REGIÕES DO ESTADO DO RIO. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA 16
FIGURA 12 – (À ESQUERDA) GRÁFICO ABC DOS MUNICÍPIOS. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA 17
FIGURA 13 – ANÁLISE PXQ POR MUNICÍPIOS. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA18
FIGURA 14 – ANÁLISE PXQ POR ZONAS DA CIDADE DO RIO. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA 20
FIGURA 15 – (À ESQUERDA) GRÁFICO ABC DOS BAIRROS DA CIDADE DO RIO. FONTE ELABORAÇÃO PRÓPRIA21
FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO POR BAIRROS DAS VENDAS DA CIDADE DO RIO. FONTE ELABORAÇÃO PRÓPRIA
FIGURA 17 – ANÁLISE PXQ MISTA DE BAIRROS RJ COM MUNICÍPIOS. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA23
FIGURA 18 – DIP DA SITUAÇÃO ATUAL. LINHAS VERDES REPRESENTAM VEÍCULOS SAINDO DO PÁTIO DE OLARIA E LINHAS VERMELHAS REPRESENTAM OS VEÍCULOS SAINDO DO PÁTIO DE DUQUE DE CAXIAS. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA
FIGURA 19 — MAPA DAS RESTRIÇÕES AO TRÂNSITO DE CAMINHÕES. FONTE: O GLOBO 28

FIGURA 20 -	- Custos do cenário atual por pátio. Fonte: Elaboração Própria 36
FIGURA 21	- REPRESENTATIVIDADE POR CATEGORIA DE CUSTO NO TOTAL DO CENÁRIC ATUAL. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA
FIGURA 22	- Centralização total de estoques para o caso particular com dois armazéns e dois mercados. Fonte: (Wanke, et al., 2009)
FIGURA 23 -	- SISTEMAS INDEPENDENTES PARA O CASO PARTICULAR COM DOIS ARMAZÉNS E DOIS MERCADOS. FONTE: (WANKE, ET AL., 2009)43
FIGURA 24	- Transferências regulares, ou <i>cross-filling</i> total, para o casc particular com dois armazéns e dois mercados. Fonte: (Wanke, et al., 2009)
FIGURA 25	– Demanda atendida por instalação no cenário 1. Fonte: Elaboração Própria53
FIGURA 26	 DIP DO CENÁRIO 1. (1) REPRESENTA O PÁTIO EM CAMPO GRANDE, (2) NO RECREIO DOS BANDEIRANTES, (3) EM OLARIA, (4) EM NITERÓI, (5) EM ITABORA E (6) EM ARRAIAL DO CABO. AS LINHAS REPRESENTAM AS VIAGENS, E SUA ESPESSURA A QUANTIDADE DE VIAGENS REALIZADAS. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA
FIGURA 27 –	- (À ESQUERDA) VIAGENS POR PÁTIO ABERTO. (À DIREITA) REPRESENTATIVIDADE POR PÁTIO. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA59
FIGURA 28	 DIP DO CENÁRIO 2. (1) REPRESENTA O PÁTIO EM CAMPO GRANDE, (2) NO RECREIO DOS BANDEIRANTES E (3) EM OLARIA. AS LINHAS REPRESENTAM AS VIAGENS, E SUA ESPESSURA A QUANTIDADE DE VIAGENS REALIZADAS. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA
FIGURA 29 -	- Comparação dos custos por cenário. Fonte: Elaboração Própria . 65
FIGURA 30	- Custo da frota x custo das instalações por cenário. Fonte: Elaboração Própria
FIGURA 31 -	- Gráfico comparativo entre as viagens com restrição nos cenários desenvolvidos e a situação atual. No mesmo gráfico, em milhões, c custo total de cada. Fonte: Elaboração Própria

1. Introdução

1.1. Apresentação

A determinação da localização de instalações em uma rede logística, sejam elas fábricas, depósitos ou terminais de transporte, é um desafio comum e dos mais importantes para os profissionais de logística. Sua importância decorre dos altos investimentos envolvidos e dos profundos impactos que as decisões de localização têm sobre os custos logísticos.

Derivado de um trabalho da disciplina Planejamento das Instalações, no qual foram propostos cenários alternativos para a rede logística estudada, surgiu o interesse de estudar uma forma de alcançar a otimização da operação de uma forma exata, embasada matematicamente, onde fosse possível testar diversas configurações de modo automático, contrastando com o método heurístico de comparação de cenários usado previamente.

O problema de localização é caracterizado por um alto nível de complexidade, por conta das diversas possibilidades, e, por conta disso, há uso intensivo de dados. De modo a estudar os efeitos que as definições na rede logística têm sob as despesas de uma empresa, estudaremos a presente operação de uma empresa de serviços que aluga veículos especializados em içamento e transporte de cargas, doravante chamada de Truck Company.

Em seguida, utilizando os dados disponíveis, utilizaremos um modelo matemático que tem como objetivo a otimização da operação auxiliando nas decisões de localização. Por fim, analisaremos os resultados obtidos da modelagem e faremos uma comparação com a atual operação.

1.2. A Empresa

A Truck Company vem a mais de 15 anos desempenhando serviços de transporte e locação de equipamentos para içamentos. Seu *mix* de equipamentos é composto por diversos tipos de caminhões especializados, como carretas, guindastes e Muncks. Os serviços de transporte se caracterizam por uma demanda do cliente de transportar uma carga, geralmente de difícil movimentação, de um local para outro. Por exemplo, uma construtora que deseja transportar um gerador de uma obra na Barra para uma obra em Campo Grande.

Os serviços de locação são relacionados às necessidades de içamentos. Geralmente, o cliente aluga um equipamento específico para conseguir movimentar cargas dentro de uma localidade. Por exemplo, numa obra precisam ser içadas diariamente várias vigas e estruturas pesadas. Neste caso, o cliente aluga um guindaste por dias ou semanas para içar as cargas na obra. O guindaste fica dedicado ao cliente.

Existem diversos tipos de carreta-semirreboque: aberta, fechada, basculante ou caçamba, frigoríficas, tanque, cegonha e pranchas. Semirreboque é o termo comumente utilizado no segmento do transporte rodoviário para designar o equipamento que transporta cargas por vias rodoviárias, tracionado por um cavalo mecânico. Cavalo mecânico é o conjunto formado pela cabine, motor e rodas de tração do caminhão. Na Truck Company as principais carretas que são acopladas ao cavalo-mecânico são do tipo prancha e caçamba.



Figura 1 - Carreta do tipo prancha. Fonte: locadorairigaray.com.br

Caminhão Munck é um tipo de guindaste hidráulico. Esses guindastes articulados são caminhões versáteis que transportam e movimentam cargas. A maioria dos Muncks possui carroceria, o que permite ser utilizado para carregamento, descarregamento, transporte, além de movimentação de máquinas e peças pesadas.



Figura 2 - Caminhão Munck. Fonte: silvaradar.com.br

Guindaste é um equipamento utilizado para a elevação, e movimentação de peças e materiais pesados, que disponibiliza de mecanismos mecânicos capaz de movimentar cargas além da capacidade humana. São aptos para trabalhar em obras, serviços de içamentos e descida de tanques, caldeiras, container, geradores, transformadores, aparelhos de ar condicionados e máquinas pesadas. (WWN - Locação de Guindastes, 2013)



Figura 3 - Guindaste. Fonte: chinatrucks.com.pt

A diferença entre o guindaste e o Munck, é que o guindaste é um equipamento de grande porte, que possui em sua estrutura, computadores de bordo capaz de configurar o guindaste para a realização de serviços diversos, considerando raio, altura, peso, etc. Já o caminhão Munck é um veículo capaz de transportar, pois possui carroceria, peças e máquinas pesadas, disponibilizando de braços mecânicos para a movimentação de diversos tipos de carga.

A escolha do tipo de caminhão correto para o serviço é um trabalho delicado, e sensível à operação, visto que a utilização de um equipamento não adequado para um serviço pode danificá-lo e causar grandes prejuízos ao cliente ou à empresa, além de inutilizar um carro pelo tempo de conserto.

Atualmente a empresa utiliza 3 endereços para operação, um pátio para Muncks em Olaria, um pátio para guindastes e carretas em Duque de Caxias e o escritório central na Barra da Tijuca, todos no estado do Rio de Janeiro.

Entres seus clientes se encontram grandes empresas como: Petrobras, Odebrecht, Metrô Rio, PAC, Light, Rede Globo e Furnas.

1.3. Motivação e Objetivo do projeto

Diferentemente de uma indústria, que possui diversas áreas e máquinas complexas, os arranjos físicos das unidades de operação da Truck Company são muito simples, são basicamente estacionamentos de veículos de grande porte de onde partem os veículos que realizam serviços em todo o Estado do Rio de Janeiro.

Por ter como pátio de trabalho todo o território do Estado do Rio de Janeiro e parte do território Paulista, Mineiro e Capixaba, concluiu-se que uma simples reorganização do espaço físico dentro dos estacionamentos de Olaria e Duque de Caxias não traria ganhos significativos quando comparados com os ganhos de estudar o território brasileiro como pátio das operações. Com esta afirmação e com a crença de que é possível ter uma operação mais eficiente, o trabalho, que inicialmente era para desenhar o layout das instalações, ganhou uma frente muito mais voltada para a localização dos estacionamentos.

A localização de instalações na rede de distribuição é uma das questões logísticas mais importantes para as empresas. Isto porque, a forma como a rede é desenhada impacta diretamente o custo total de distribuição, as condições para o gerenciamento do nível de serviço prestado e o nível de estoque a ser mantido. Muitas empresas recorrem a profissionais especializados no assunto para avaliar suas redes de distribuição e buscar soluções que possibilitem ganhos financeiras.

(Hayes, et al., 2004) classifica a localização das instalações como uma decisão estrutural e estratégica de produção. Tais decisões demandam um alto investimento de capital e, uma vez realizadas, são difíceis de alterar ou reverter. (Ballou, 2001) defende ainda que a reconfiguração das instalações de uma cadeia de suprimentos pode levar a reduções de custo que variam de 5 a 15%, ao mesmo tempo em que o nível de serviço é mantido ou melhorado.

(Ballou, 2004) ressalta ainda que os problemas de localização de instalações se enquadram em um número limitado de categorias, abrangendo as seguintes possibilidades:

- Determinação dos fatores preponderantes, ou seja, se há um fator mais crítico que todos os outros, como o lucro de determinada região ou acessibilidade mais fácil para transportes;
- Determinação do número de instalações a serem abertas;
- Determinação das possíveis localidades, ou seja, se há locais predeterminados para a localização ou se o método de cálculo determinará a melhor localidade a partir de uma região em um plano/espaço;
- Escolha do grau de agregação dos dados;
- Escolha do horizonte de tempo.

Geralmente, os problemas de localização apresentam alta complexidade e demandam um alto esforço em análises qualitativas. Isto porque as variáveis dos problemas se influenciam mutuamente, gerando *trade-offs*, e o número de alternativas a serem analisadas é muito grande, mesmo para problemas de pequeno porte (Lacerda, 1998). São parte dos problemas vários produtos e mercados consumidores, diversas

possibilidades para abertura das instalações, diferentes modais de transporte e diferentes políticas de estoque para cada instalação.

De forma geral, tais problemas têm como objetivo a minimização do custo total da rede para dado intervalo de tempo e são sujeitos à restrição de capacidade das instalações, devendo atender determinada demanda e satisfazer certos níveis de serviço (Lacerda, 1998). O custo total é normalmente composto pelos custos fixos das instalações, custo de transporte e o custo de oportunidade de manter estoques. O comportamento esperado desses custos é mostrado na figura abaixo.

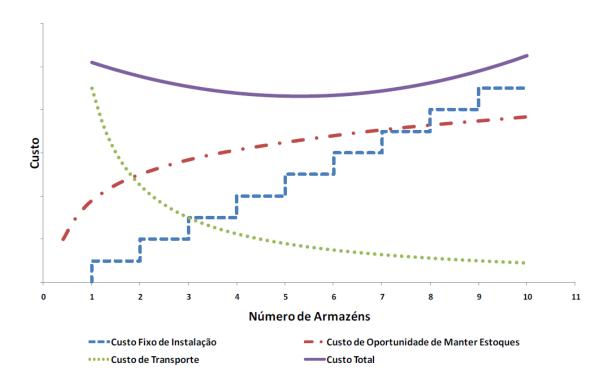


Figura 4 – Comportamento dos custos da rede de distribuição em função do número de armazéns.

Fonte: Adaptado de (Fleury, et al., 2003)

No caso da Truck Company, a empresa não é responsável por entregar produtos e sim, prestar serviços. Sendo assim, o estoque da empresa é o total de veículos que ela possui. Para estudar o efeito de estoque seria necessário dimensionar a frota, ou seja, identificar quantos veículos são necessários para atender a demanda. O problema é que na base que foi obtida não existem dados sobre o tempo médio de duração de

cada serviço realizado e em conversa com o presidente da empresa nos foi informado que esse tempo é muito variável.

Essa variação grande do tempo ocorre por conta dos serviços de locação. Neste tipo de serviço prestado, os veículos ficam alocados nos clientes e o tempo de alocação no cliente varia de 24h, em serviços mais simples, até meses em obras com maior complexidade. Por falta de dados sobre o tempo médio de duração dos serviços prestados todas as possíveis análises sobre estoque (número de veículos) ficam prejudicadas. Portanto, este trabalho não irá mensurar o custo de oportunidade de manter estoques.

O tempo de duração para serviços de transporte é mais simples, é basicamente o tempo de deslocamento entres os locais. A opção, que não vai ser abordada neste trabalho, seria estimar quanto tempo em média dura cada serviço de locação. A partir de entrevistas, seria possível simular para um pequeno número de ordens e definir uma distribuição padrão para o tempo de duração. Outra opção seria de fato acompanhar diariamente por um período de tempo os veículos que estão alocados nos clientes.

Entretanto, para que este resultado fosse estaticamente razoável a amostra deveria ser suficientemente grande e o tempo observado significante para representar o *mix* de serviços que caracterizem a operação da empresa. Sempre é possível fazer simplificações se forem levadas em considerações suas implicações portanto, também seria possível estimar um tempo médio de locação por tipo de veículo com base na experiência dos funcionários da empresa e utilizá-lo para realizar a conta de dimensionamento. Porém, como foi dito acima o tempo de duração deste tipo de serviço é muito variável e para não simplificar demais uma operação complexa, optou-se por focar apenas na análise de localização das instalações a partir dos custos fixos das instalações e do custo de transporte.

Se a base tivesse os tempos de duração ou estes tempos pudessem ser estimados com precisão, a conta para chegar no total de veículos seria relativamente simples. A partir do tempo necessário para cada viagem, seria possível calcular um número máximo de viagens que cada veículo poderia fazer num período de tempo (ano

ou mês por exemplo). Em seguida seria necessário dividir a demanda no mesmo período de tempo por este valor calculado e o resultado seria o total de veículo necessários, ou seja, a frota ideal.

(Wanke, et al., 2009) afirma que os estudos de localização se propõem, então, a responder especificamente a perguntas do tipo:

- Quantas instalações localizar?
- Onde localizar as instalações?
- Quais produtos e mercados alocar a uma instalação?
- Qual nível de estoque, de ciclo e segurança deve ser mantido em cada instalação?
- Quais clientes, mercados ou outras instalações servir a partir de uma instalação selecionada?
- Que modalidade de transporte utilizar para suprimento ou distribuição?

O presente documento tem como objetivos, entre outros, responder qual o número de estacionamentos, onde devem ser localizados estes estacionamentos e quais estacionamentos vão atender cada região de forma a minimizar o custo total e maximizar as margens de lucro da operação da Truck Company em 2015.

2. Metodologia

Com os objetivos do trabalho em mente, o passo seguinte foi elaborar uma metodologia para atingi-los.

O primeiro passo foi entender como a empresa, objeto do estudo, opera. Essa etapa foi dividida em duas partes: coleta de informações e análises. Num primeiro momento, foram realizadas diversas visitas aos estacionamentos da empresa e entrevistas com o objetivo de entender como o serviço é prestado. Numa das entrevistas, com a área comercial, foi possível obter a base de serviços prestados no ano de 2012.

Desse modo, com base nas entrevistas foi desenhado o processo (Anexo 8.1) que explicita como funciona este processo de prestação de serviços da Truck Company. Já as análises, foram fundamentais para entender qual era o *mix* entre locações e transportes que a empresa realizou em 2012 e principalmente para mapear a demanda pelos serviços prestados. Com a base de vendas, foi possível calcular as distâncias entre os estacionamentos e os clientes a partir das ferramentas gratuitas disponibilizadas pelo Google.

O passo seguinte foi calcular o custo do cenário atual, ou seja, calcular qual o custo total, operando a partir dos estacionamentos de Olaria e de Caxias, ao prestar os serviços listados na base. É importante destacar que não foi possível o acesso à base de dados mais recentes. Porém, em conversas com o presidente, o mesmo afirmou que as demanda para os anos de 2013 e 2014 foram muito parecidas com a de 2012 e que a de 2015, por conta do momento atual do país, deve permanecer semelhante aos dados fornecidos. O custo total foi dividido em duas partes: Custo fixo das instalações e o Custo Operacional (de Transporte).

O Custo das Instalações foi obtido com o presidente da empresa, são os custos reais da operação atual. O custo operacional é basicamente o custo de transporte dos veículos, ou seja, o custo de combustível gasto para realizar os serviços e os custos de manutenção da frota. Para calcular o custo operacional, foram utilizados *drivers* de

custo. A maioria dos *drivers* são relacionadas com a distância percorrida e todos foram validados pelo presidente da empresa. Tendo em mãos o custo das instalações, a demanda, a distância entre os estacionamentos e os clientes e os *drivers* de custo, foi possível calcular o custo total atual da Truck Company para atender a demanda informada.

A proposição de cenários que reduzissem o custo total atual poderia ser feita de várias formas. Um exemplo seria a partir do mapeamento da demanda, sugerir locais alternativos para a localização dos estacionamentos ou do estacionamento único. Com certeza, numa análise heurística de cenários surgiriam possibilidades que poderiam melhorar a eficiência da operação. Entretanto, o objetivo deste trabalho é encontrar a melhor configuração de rede logística para o objeto de estudo escolhido e isso não seria possível com a avaliação de cenários pois o número de cenários seria limitado e não representaria o grande número de possibilidades existentes para a configuração da rede logística da empresa em questão.

O objetivo do trabalho é dizer qual o número de estacionamentos que a empresa deve ter, quais regiões este(s) estacionamento(s) vai/vão atender e onde este(s) estacionamento(s) irá/irão ser localizado(s). Para tanto, é necessário o uso de um modelo matemático que possa avaliar cada possibilidade de configuração da rede logística. Com isto em mente, foi estudado o tema de planejamento de rede logística e percebido que existiam diversos modelos matemáticos na literatura. A grande decisão neste momento foi encontrar um modelo que atendesse às nossas demandas. Pelas características da operação da Truck Company, optou-se por adaptar um modelo, representando com mais precisão a operação estudada.

Após o desenvolvimento do modelo e de seus inputs, foi possível executá-lo e obter a configuração ideal para a operação da empresa, ou seja, a rede logística que minimiza o custo total necessário para o atendimento da demanda. Com o resultado do modelo definido, o passo seguinte é analisá-lo criticamente e ver se ele de fato fazia sentido. E, em seguida, comparar o resultado do modelo com a situação atual e desenvolver as conclusões do estudo.

3. Situação Atual

O processo de aquisição de um serviço da Truck Company ocorre quase que totalmente por telefone. A empresa gasta pouco com propaganda e vendedores, a maior propaganda da empresa são seus veículos circulando pela rua com a logomarca e telefones estampados na carroceria. A filosofia da empresa é prezar pelo serviço ofertado pois acredita que um cliente satisfeito sempre vai procurar a empresa para realizar novos serviços.

Como o processo em si não é tão importante para o tema de localização das instalações, iremos apenas resumi-lo. A área comercial recebe a ligação dos clientes e, a partir da descrição do serviço feita pelo cliente, define qual o veículo mais indicado para a realização da tarefa. A partir disso, a negociação é aberta e a etapa final é o agendamento do serviço de acordo com a disponibilidade dos veículos. Para mais detalhes, o processo completo e mapeado em BPMN se encontra disponível em anexo.

Em seguida, foram realizadas diversas análises a partir da base de dados disponibilizada visando entender melhor o negócio de aluguel de veículos da empresa. Primeiramente, buscou-se entender como era distribuída a frota da Truck Company entre os pátios de Olaria e Duque de Caxias.

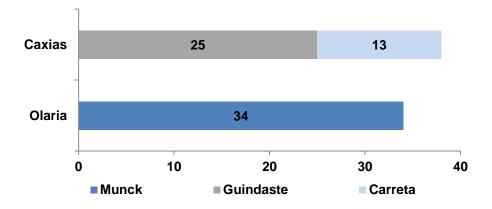


Figura 5 - Distribuição da frota nos pátios. Fonte: Elaboração Própria

O que chamou atenção nesta análise, e que foi confirmado posteriormente, é que os diretores da Truck Company dividiam, independentemente da demanda, os pátios por tipos de veículo. Em Olaria ficavam todos os 34 Muncks e em Duque de Caxias os 25 guindastes e os 13 cavalos-mecânicos.

3.1. Análises de Venda e Mapeamento da Demanda

Para poder propor melhorias, é fundamental que esteja claro como se comporta a demanda e as vendas dos serviços oferecidos pela Truck Company. Para tanto, foi fornecido um relatório de vendas com informações do dia 01/01/2012 ao dia 31/12/2012.

Em várias planilhas, havia um certo número de linhas que representavam os serviços prestados pela empresa no mês. Nestas linhas, era descrito a data, qual o tipo de serviço, qual o cliente, quais eram os locais que o motorista deveria visitar e o carro que realizou o serviço, entre outras informações não tão relevantes. O trabalho inicial foi organizar e consolidar estas informações para que então se pudesse validar com a empresa e começar as análises.

É importante observar como é a divisão entre serviços de Locação e Transporte realizados. Dentre os 9507 serviços analisado, 7130 ou 75% foram de Locação de veículos e 2376 ou 25% foram de transporte de cargas.

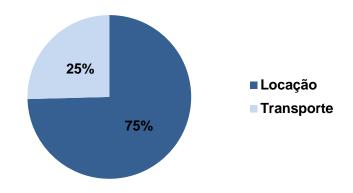


Figura 6 - Mix por tipo de serviço. Fonte: Elaboração Própria

Buscou-se também observar como era a evolução de vendas no ano.

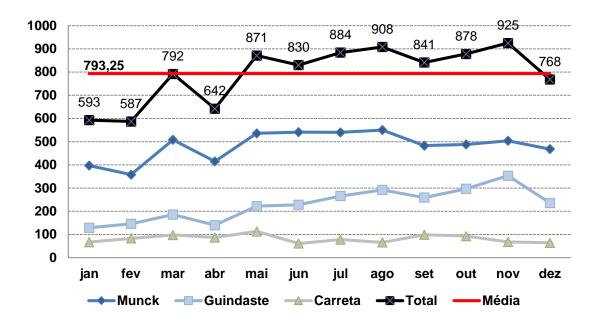


Figura 7 - Evolução por tipo de veículo. Fonte: Elaboração Própria

Pelo gráfico apresentado, percebe-se que a demanda no início do ano de 2012 foi menor do que o restante do ano. Dos 5 meses abaixo da média, 4 ocorrem no início do ano. A demanda mais alta a partir do meio do ano pode ter sido resultado da aquisição de veículos a partir do mês de maio. Em junho 2 novos guindastes entraram em operação. A intenção era concluir se existe ou não sazonalidade da demanda e apesar da indicação de que a demanda no começo do ano é menor, apenas esta análise não é conclusiva. Para ter uma conclusão sobre sazonalidade seria necessário um período maior de dados sobre os serviços realizados, de forma que fosse possível comparar vários anos e detectar qual é o comportamento da demanda.

Outro ponto importante, é entender como foram as vendas por tipo de veículo no período analisado.

Tabela 1 - (À esquerda) Total e Média de serviços por tipo de veículo. Fonte: Elaboração Própria

Serviços em 2012				
Tipo de veículo Total Média por veículo				
Munck	5782	170,24		
Guindaste	2750	110,16		
Carreta	975	75,15		
Total	9507	132,21		

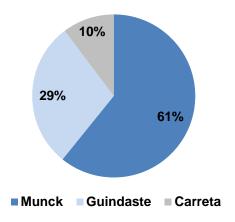


Figura 8 - (À direita) Participação nas vendas por tipo de veículo. Fonte: Elaboração Própria

Como já era de se esperar, pelo fato de ter mais veículos, a participação dos Muncks é a maior. O que chama atenção é que a média de serviços por veículo dos Muncks é 54% maior do que a média dos guindastes e mais que o dobro da média das carretas. Essa análise é condizente com a natureza da operação dos veículos. Os guindastes e carretas geralmente ficam alugados por mais tempos, ficam mais fixos nas obras. Muncks fazem serviços mais rápidos, geralmente de 8h.

Três características são determinantes para cada serviço realizado pela Truck Company: o tipo de serviço (Locação ou transporte), o tipo de veículo (Carreta, Guindaste ou Munck) e onde será realizado o serviço.

As duas primeiras características já foram analisadas e agora analisaremos a terceira, e a mais importante: onde estão situados os clientes. Buscamos realizar análises de natureza mais quantitativa e análises visuais, de mais fácil compreensão. As análises deste item irão do nível mais agregado até o mais desagregado, com objetivo de identificar quais as localidades são mais importantes para a operação da Truck Company.

Primeiramente, precisou-se padronizar todos os endereços dos clientes e locais dos serviços que foram disponibilizados. Esta etapa foi exaustiva, porém fundamental porque ao final do processo foram obtidos o município e a unidade da federação de cada cliente.

Fazendo a análise PxQ, onde o produto em questão seria a realização de um serviço em um estado da região sudeste do Brasil e a quantidade quantas vezes esse serviço foi realizado, chegou-se ao seguinte resultado.

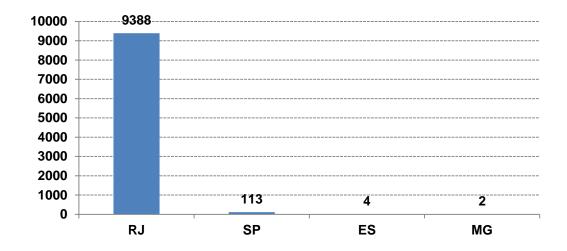


Figura 9 - Análise PxQ por UF. Fonte: Elaboração Própria

Esta análise evidencia o que já era esperado, quase a totalidade dos serviços prestados pela Truck Company localiza-se no estado do Rio de Janeiro.

Tendo em vista agora apenas o estado do Rio de Janeiro, o passo seguinte foi separá-lo em 7 regiões: Sul do Rio, Região Serrana, Norte do Rio, Região dos Lagos, Grande Niterói, Grande Rio e Baixada Fluminense.

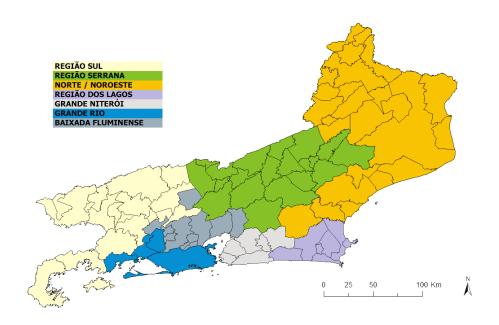


Figura 10 - Divisão do estado do Rio em regiões. Fonte: Elaboração Própria

Em seguida, foi realizado uma nova análise PxQ para os serviços prestados no estado do Rio de Janeiro. Onde o produto seria a realização de um serviço em uma das 7 regiões do estado do Rio de Janeiro. Todo esse esforço, tem como objetivo analisar qual é o *core business* em termos de local de atendimento da empresa.

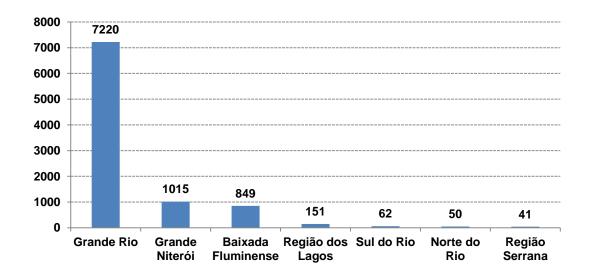


Figura 11 - Análise PxQ por regiões do estado do Rio. Fonte: Elaboração Própria

A Truck Company prestou serviços em 58 municípios distintos da região Sudestes do Brasil. Deste total, 19%, ou seja, 11 municípios representam 95% da demanda total e estão listados na tabela abaixo. A demanda é muito concentrada na cidade do Rio de Janeiro, que possui uma representatividade de 73% do total de serviços prestados. 81%, ou seja, 48 dos municípios atendidos contribuem somente com 5% das vendas. A tabela e o gráfico abaixo ilustram essa concentração de vendas e a análise PxQ dos municípios. No gráfico abaixo, só estão representados os municípios classe A e classe B.

Tabela 2 – (À Direita) Classificação ABC dos municípios. Fonte: Elaboração Própria

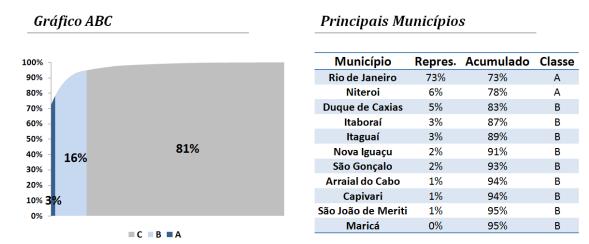


Figura 12 – (À Esquerda) Gráfico ABC dos municípios. Fonte: Elaboração Própria

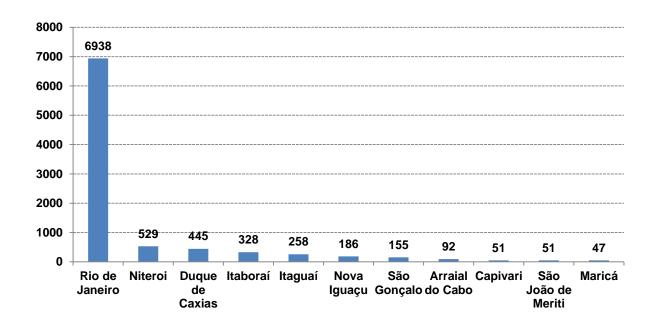


Figura 13 - Análise PxQ por municípios. Fonte: Elaboração Própria

Para ter uma representação mais visual destes dados, foi utilizado o *software Maptitude Geographic Information System*¹ (GIS). Este *software* fornece ferramentas, mapas e dados demográficos que eram necessários para analisar e compreender como a geografia afeta o negócio da Truck Company. Com o *Maptitude*, foi possível visualizar os dados de novas e diferentes maneiras, descobrindo padrões geográficos nos números, e transmitindo essa informação de forma simples através dos mapas. O primeiro mapa plotado foi o mapa de vendas por municípios.

¹ Informações adicionais sobre o Maptitude: http://www.caliper.com/maptitude/

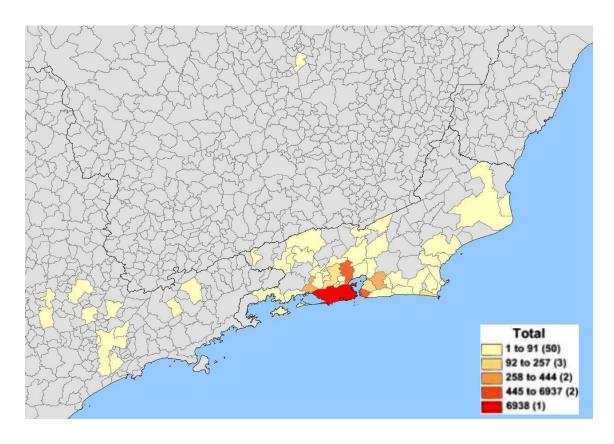


Figura 15 - Mapa de Vendas por municípios. Fonte: Elaboração Própria

Desta forma, fica ainda mais claro onde se concentra a operação da Truck Company. Quanto mais escuro, maior o volume de serviços (legenda). O vermelho escuro é a cidade do Rio de Janeiro, os laranjas escuros são as cidades de Niterói e Duque de Caxias e os laranjas claros são as cidades de Itaboraí e Itaguaí.

A partir destas análises notou-se que era necessário um nível de detalhe maior. Pela grande representatividade dos serviços prestados na cidade do Rio de Janeiro, surgiu a demanda de entender como era distribuída esta concentração dentro do município do rio. Estas análises serviram para confirmar que o foco da empresa é o município do Rio de Janeiro e por isso, é lá que devem ser posicionadas suas instalações, ou nas redondezas como Caxias e Niterói.

Novamente, foi um trabalho exaustivo de identificar em que bairro ocorreu cada serviço do município do Rio de Janeiro para que se pudesse mapear a demanda da cidade do Rio.

A primeira divisão feita foi a divisão por Zonas da cidade do Rio de Janeiro: Zona Oeste, Zona Norte, Centro e Zona Sul. Em seguida, foi realizado uma nova análise PxQ, onde o P são os serviços prestados nas quatro Zonas da cidade do Rio de Janeiro e o Q a quantidade destes serviços.

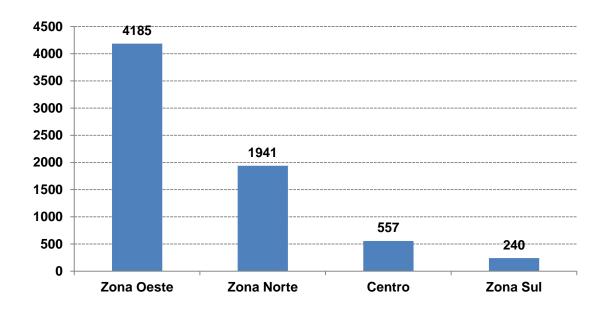
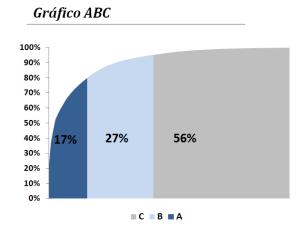


Figura 14 - Análise PxQ por Zonas da cidade do Rio. Fonte: Elaboração Própria

Pelo gráfico acima fica claro que as regiões que devem ter o menor custo de operação para a realização dos serviços são as Zona Oeste e Zona Norte, ou seja, a direção da empresa deve buscar minimizar os custos operacionais das viagens aos bairros destas áreas. A melhor forma de minimizar os gastos é diminuir a quilometragem percorrida para realizar os serviços.

Em seguida, realizou-se uma nova análise ABC por bairros da cidade do Rio de Janeiro que buscava identificar quais os bairros eram os mais importantes para a operação da Truck Company.

Tabela 3 – (À Direita) Classificação ABC dos bairros da cidade do Rio. Fonte: Elaboração Própria



n .		D '	n	•
Princ	inais	Bairro	- K	ı

D - !	D	A	ABC DI
Bairro	Repres.	Acumulado	ABC_RJ
Campo Grande	19%	19%	Α
Barra da Tijuca	18%	37%	Α
Jacarepaguá	8%	45%	Α
Centro	7%	52%	Α
Bonsucesso	3%	56%	Α
Olaria	3%	59%	Α
Recreio	3%	61%	Α
Caju	3%	64%	Α
Ilha do Governador	3%	67%	Α
Pavuna	2%	68%	А
Santa Cruz	2%	70%	Α
Del Castilho	2%	72%	Α
Vargem Grande	1%	73%	Α
São Cristóvão	1%	75%	Α
Guaratiba	1%	76%	Α
Taquara	1%	78%	А
Curicica	1%	79%	Α
Botafogo	1%	80%	Α

Figura 15 – (À Esquerda) Gráfico ABC dos bairros da cidade do Rio. Fonte: Elaboração Própria

Esta análise é muito mais distribuída do que a análise mostrada na figura 13. Porém, ainda é evidente a regra de Pareto ou princípio 80-20. Menos de 20% dos bairros são responsáveis por 80% da demanda total da cidade. Vale destacar que os três bairros mais representativos pertencem à Zona Oeste.

De fato, apenas dois bairros classe A não fazem parte da zona Oeste ou da Zona Norte, são eles: Centro e Botafogo. Esta tabela e os motivos citados ajudam a entender a análise PxQ por Zonas da cidade do Rio (figura 16) onde a Zona Oeste e a Zona Norte tiveram muito mais serviços no ano de 2012.

Assim como foi feito com os municípios, utilizou-se o software *Maptitude* para plotar um novo gráfico que pudesse mostrar de maneira rápida e fácil esta concentração dos serviços mostrada na análise por bairros.

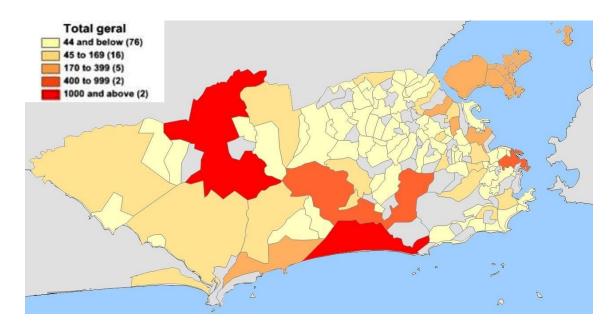


Figura 16 - Distribuição por bairros das vendas da cidade do Rio. Fonte: Elaboração Própria

A lógica deste mapa é a mesma do mapa anterior, o volume de vendas é mais concentrado nos bairros que possuem cores mais escuras. Assim, podemos destacar em vermelho os bairros de Campo Grande e da Barra da tijuca e em laranja escuro os bairros de Jacarepaguá e Centro. Juntos, estes bairros representam mais da metade dos serviços prestados na cidade do Rio de Janeiro.

Para finalizar, realizamos uma análise PxQ mais completa. Tendo como amostra todos os serviços realizados no ano de 2012, usamos como P bairros do Rio de Janeiro e municípios (exceto o próprio Rio de Janeiro) e Q a quantidade de serviços realizados. Esta análise é um *mix* de bairros com municípios, são locais onde ocorreram as vendas e é fundamental, pois leva em consideração os 9507 serviços prestados no ano passado. É esta análise que deve ser levada em consideração quando o gestor for olhar quais as localidades são mais importantes e, portanto, devem ficar mais próximas do(s) pátio(s) de estacionamento. Para não comprometer o entendimento visual da análise, só foram colocadas no gráfico as localidades que representam 90% das vendas.

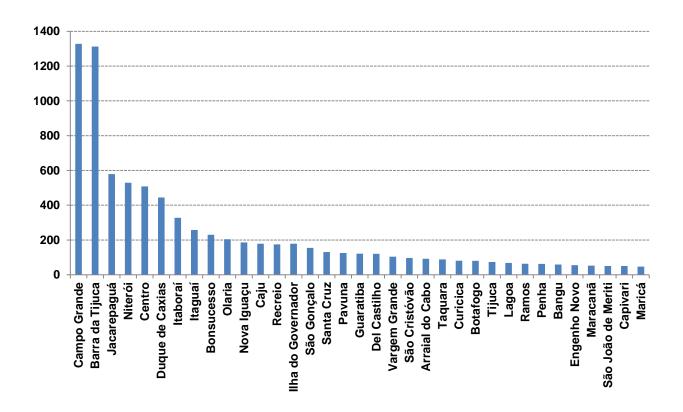


Figura 17 - Análise PxQ mista de bairros RJ com municípios. Fonte: Elaboração Própria

Para concluir, ficou claro neste item, com o auxílio dos mapas e gráficos, que as vendas da Truck Company se concentram na cidade do Rio de Janeiro e nos municípios vizinhos como: Duque de Caxias, Niterói, Itaboraí, Itaguaí e Nova Iguaçu. Podemos perceber também que dentro do município do Rio a demanda é concentrada nos bairros da Zona Oeste e da Zona Norte e que a representatividade dos bairros de Campo Grande e da Barra da Tijuca é muito superior do que as das demais localidades. Portanto vale repensar a localização atual da empresa (Olaria e Duque de Caxias) em busca de uma redução da quilometragem percorrida pelos veículos para reduzir o custo operacional.

3.2. Diagrama de Interligações Preferenciais

A partir dos dados de vendas foi elaborado um Diagrama de Interligações Preferenciais (DIP) adaptado. Em um DIP normal e usual são utilizadas áreas da empresa, e as linhas entre elas devem evidenciar as relações de proximidade que devem existir entre as mesmas. Além disso, em um primeiro momento o local a ser utilizado não é considerado, o que dá maior liberdade ao diagrama.

Porém, neste caso, consideraremos as áreas da empresa como os locais onde ela realiza serviço, as relações de proximidade serão evidenciadas pela espessura da linha contida entre as áreas e o pátio, e faremos o uso do local para montar esse diagrama utilizando o Rio de Janeiro como planta.

Para elaboração desse diagrama foi utilizado uma ferramenta do Google, fornecida gratuitamente, chamada *Google Maps Javascript API*. Esta ferramenta provê diversas utilidades para manipulação de mapas e adição de conteúdo por uma enorme variedade de serviços.

Lembrando que as linhas não significam os caminhos percorridos pelos veículos, mas, sim, uma representação gráfica dos deslocamentos mais comuns, e, portanto, mais significativos para o faturamento da empresa. Dessa maneira, uma linha mais espessa significa uma maior quantidade de serviços prestados naquela região, e não a quantidade de quilômetros percorridos gastos para prestar serviço àquele local.

O resultado é o que segue:

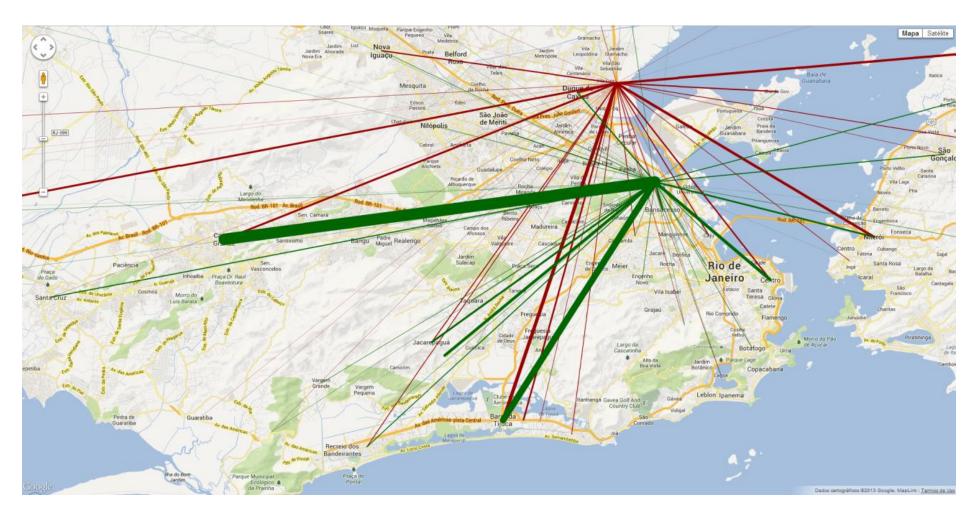


Figura 18 – DIP da situação atual. Linhas verdes representam veículos saindo do pátio de Olaria e linhas vermelhas representam os veículos saindo do pátio de Duque de Caxias. Fonte: Elaboração Própria

A partir desse diagrama de interligações, foi feita uma análise clássica que um engenheiro de produção deve fazer quando se tem este tipo de gráfico em mãos. Como eu posso melhorar o fluxo da operação de forma que se diminua as distâncias entre os locais que possuem forte ligação (linha grossa)?

Nota-se que as linhas grossas que representam o grande volume de viagens estão muito compridas. Isto significa que os principais clientes da Truck Company se localizam distantes dos pátios de Duque de Caxias e Olaria. Além disso, há diversas linhas vermelhas cruzando com linhas verdes, isto é resultado da política de alocação de veículos atual onde os Muncks ficam em Olaria e os guindastes e carretas em Duque de Caxias.

A ideia é analisar se existe um melhor arranjo dos pátios pelo território do Rio de Janeiro de forma que as linhas mais grossas fiquem mais curtas, diminuindo assim a quilometragem das viagens das principais regiões consumidoras dos serviços oferecidos pela empresa.

Além disso, a intenção é evitar o cruzamento de linhas, de forma que cada pátio possua sua área de atendimento. Para que isto ocorra, cada pátio deve ter um *mix* de carretas, guindastes e Muncks que satisfaça os clientes de suas regiões.

3.3. Custo Total Atual

A partir do entendimento da operação, o foco deste capítulo será mensurar qual o custo operacional e das instalações da situação atual, ou seja, 2 estacionamentos sendo 1 em Olaria e 1 em Duque de Caxias.

Para tal, a partir de dados coletados e informações cedidas pelos diretores, iremos primeiramente calcular o custo operacional resultante da formatação atual do negócio. O primeiro passo foi realizar um estudo de distâncias de ida e retorno de todos os destinos realizados em 2012 até todos os pátios, por exemplo:

Aeroporto Internacional do Galeão

Caxias

Distância <u>indo</u> de Caxias = 17314 metros Distância <u>voltando</u> de Caxias = 16865 metros

Olaria

Distância *indo* de Olaria = 9471 metros Distância *voltando* de Olaria = 8562 metros

Esse levantamento de dados foi feito com uso de duas *API's*² disponibilizadas gratuitamente pelo Google, a primeira chamada *Google Geocoding API* e a segunda chamada *Google Directions API*. A *Google Geocoding API* é responsável por transformar endereços na forma legível, como por exemplo, "Av. Ayrton Senna - Rio de Janeiro - RJ, Brasil" em coordenadas geográficas como "-22.9821022, -43.3653443". *A Google Directions API*, no entanto, é responsável por calcular as distâncias percorridas entre localizações.

Então, a partir dos endereços que nos fornecerem das viagens ocorridas em 2012, usamos a *Google Geocoding API* para nos retornar as coordenadas dos locais de serviço, e em seguida o *Google Directions API* para retorno das distâncias até os locais e voltando aos pátios.

Importante ressaltar que para deslocamento de um ponto a outro, será sempre feito o mesmo roteiro, desconsiderando alterações no trajeto feitas pelo motorista do veículo em decorrência do acima citado "fator transito", ou outros fatores desconhecidos.

Além dos dados de distâncias, nos foi alertado para o fato de que dada uma mudança na legislação relativa ao transito de veículos (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2012), há vias restritas a passagem de veículos pesados e por isso foi feito também um levantamento de quais ruas são restritas ao transito de caminhões.

Essa restrição vale para os períodos compreendidos entre 06 às 10h e 17 e 20h, de segunda a sexta-feira, no polígono delimitado pelo Decreto 29.231 de 24/04/2008, conforme mapa abaixo:

²API, de Application Programming Interface (ou Interface de Programação de Aplicativos) é um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um software para a utilização das suas funcionalidades por aplicativos que não pretendem envolver-se em detalhes da implementação do software, mas apenas usar

seus serviços.

27

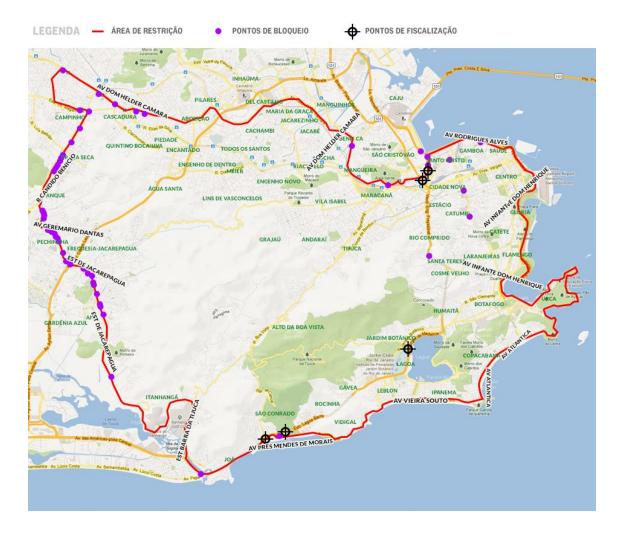


Figura 19 – Mapa das restrições ao trânsito de caminhões. Fonte: O Globo³

Além das vias realçadas, outras duas importantes vias do Rio de Janeiro também estão restritas a circulação de veículos pesados: a Linha Vermelha⁴, e a Linha Amarela⁵.

Em resumo, abaixo a lista de vias com restrição:

- Avenida Francisco Bicalho
- Rua Francisco Eugênio
- Avenida Bartolomeu de Gusmão
- Rua Visconde de Niterói

³http://oglobo.globo.com/infograficos/restricao-circulacao-caminhoes/

⁴http://www.estradas.com.br/new2/materia.asp?id=23477

 $^{^5} http://extra.globo.com/noticias/rio/linha-amarela-prefeitura-proibe-circulacao-de-caminhoes-norush-432860.html\\$

- Rua Sen. Bernardo Monteiro
- Largo de Benfica
- Avenida Dom Hélder Câmara
- Viaduto de Cascadura
- Praça José de Sousa Marques
- Rua Ângelo Dantas
- Rua João Vicente
- Estrada Henrique de Melo
- Estrada Int. Magalhães
- Largo do Campinho
- Rua Cândido Benício
- Avenida Geremário Dantas
- Praça Profa. Camisão
- Estrada de Jacarepaguá
- Avenida Eng. Sousa Filho
- Estrada do Itanhangá
- Estrada da Barra da Tijuca
- Ponte Nova
- Praça Euvaldo Lodi
- Avenida Min. Ivan Lins
- Ponte. da Joatinga
- Túnel do Joá
- Vevd. das Bandeiras
- Avenida Pref. Mendes de Morais
- Avenida Niemeyer
- Avenida Delfim Moreira
- Avenida Vieira Souto
- Rua Francisco Otaviano
- Avenida Atlântica
- Avenida Princesa. Isabel
- Túnel Eng. Marques Porto
- Avenida Venceslau Brás
- Avenida Pasteur
- Avenida das Nações Unidas

- Avenida Inf-d. Henrique
- Avenida Rodrigues Alves
- Avenida Governador Carlos Lacerda
- Avenida Bento Ribeiro Dantas / Ln. Amarela
- Avenida Presidente João Goulart / Ln. Vermelha

Em conversa com um dos diretores da empresa, foi sinalizado que essa restrição influencia muito na operacionalização do negócio. Para conseguir atender clientes e, dessa maneira, manter uma boa satisfação dos mesmos, a empresa antecipa a saída de caminhões para evitar os horários de restrição.

Com isso, por exemplo, serviços que tem de ser realizados as 10:00 horas, os veículos têm que sair as 5:00 horas para poder passar por vias restritas, incorrendo custos de pessoal mais elevado como horas extras, insalubridade, entre outros. Ou mesmo desrespeitar a restrição e arcar com as despesas de uma infração/multa.

Os custos de pessoal incorridos dessa restrição não serão alvo de estudo pela falta de dados, porém, podemos afirmar que carros que fazem percursos que contem restrições possuem uma média menor de viagens por dia pela impossibilidade de circulação nas vias da cidade no horário de rush. E mais, por conta disso houve a necessidade de compra de mais caminhões, aumentando a frota da empresa e enchendo ainda mais, os já lotados, pátios atuais.

Tendo isso em vista, por fim, foram mapeados os percursos por onde se passam por vias com restrição. A verificação se o par (origem, destino) possui ou não restrições em seu caminho foi feita também utilizando-se também da *Google Directions API*, juntamente com programação, em linguagem PHP. O código desenvolvido especialmente para essa utilização, e que captura os valores de distância, tempo e restrição pode ser encontrado no Anexo 8.3 - Utilização do *Google Directions API*.

Em seguida, foi feito um levantamento dos *drivers* de custos operacionais, e seus respectivos valores. Os seguintes *drivers* foram considerados como relevantes para o cálculo do custo operacional:

Custo de Combustível

Os custos de combustíveis serão calculados a partir da distância que o carro percorreu dividido pelo consumo médio de cada equipamento, multiplicado pelo valor do diesel, combustível utilizado por toda a frota. Como queremos calcular o custo base para o ano de 2015, utilizaremos o valor mais recente do litro do diesel que é de R\$ 2,747 por litro (Agência Nacional de Petróleo, 2015).

Custo de Pneus e Câmaras

A partir do pressuposto de que os pneus e câmaras são trocados a cada 40.000 quilômetros, esses custos serão calculados também a partir da distância que o carro percorreu, dividido por 40.000, e a resposta será o número total de jogos necessários. Levaremos em consideração também que a necessidade média de pneus, e, consequentemente, câmaras, por carro é de 6. Isto porque alguns carros possuem 2 eixos, e outros 3 ou mais, dependendo do carro.

Custo com óleo motor

Também a partir da quilometragem percorrida pelos carros, os custos com óleo motor serão obtidos a partir da necessidade desse óleo a cada 1000km. Este driver não significa que a troca deve ser feita a cada 1000km, porém é uma média de custos com óleo motor a cada 1000km percorridos

Custo com óleo transmissão

A partir da quilometragem percorrida pelos carros, os custos com óleo transmissão serão obtidos a partir da necessidade desse óleo a cada 1000km. Este *driver* não significa que a troca deve ser feita a cada 1000km, porém é uma média de custos com óleo transmissão a cada 1000km percorridos

Custo com óleo hidráulico

Assim como os anteriores, a partir da quilometragem percorrida pelos carros, os custos com óleo hidráulico serão obtidos a partir da necessidade desse óleo a cada 1000km. Este *driver* não significa que a troca deve ser feita a cada 1000km, porém é uma média de custos com óleo hidráulico a cada 1000km percorridos

Custo com graxas em kg

Também é calculado a partir da quilometragem percorrida pelos carros, os custos com graxas serão obtidos a partir da necessidade a cada 1000km. Este *driver* não significa que a troca deve ser feita a cada 1000km, porém é uma média de custos com graxas a cada 1000km percorridos

Seguro

O seguro é calculado a partir de uma média anual sobre o gasto com seguros, dividido pelo número de carros. É importante ressaltar que os seguros só cobrem danos a terceiros, e por isso, qualquer dano ocorrido aos carros da empresa, deverão ser arcados pela própria empresa, e serão abordados pelo driver Manutenção.

Multas

São dois os possíveis custos com multas, aqueles pagos pela empresa, e os pagos pelos funcionários. Em questão, só será incluído neste driver os custos cobertos pela empresa. Os custos cobertos serão calculados a partir da média anual de gastos com multas, dividido pelo número de carros.

Manutenção

Para calcular os custos derivados de manutenção, é feito um cálculo de 15% da soma de todos os custos a cima, ao ano. Esses custos de manutenção são relativos a danos aos carros.

Para cada *driver* selecionado como relevante foi encontrado um valor para cálculo de custos. São os que seguem na tabela abaixo:

Tabela 4 - Tabela de drivers de custo. Fonte: Elaboração Própria

Drivers				
Custo do Diesel	R\$ 2,747	por litro		
Custo de Manutenção	15%	ao ano		
Custo de Pneu	R\$980,00	por pneu		
Custo de Câmara	R\$ 65,00	por pneu		
Reposição Jogo após	40.000,00	km		
Custo com óleo motor	R\$ 28,80	por 1000km		
Custo com óleo transmissão	R\$ 5,30	por 1000km		
Custo com óleo hidráulico	R\$ 54,00	por 1000km		
Custo com graxas em 2,5kg	R\$ 12,50	por 1000km		

Além disso, para calcular os custos de combustíveis é necessário também saber o consumo médio de cada tipo de carro. Os dados que seguem foram-nos passados pelo diretor da empresa:

Tabela 5 - Consumo médio dos diferentes tipos de carros. Fonte: Elaboração Própria

Carro	Consumo		
MUNCK	2	Km/l	
GUINDASTE	2	Km/l	
CARRETA	2	Km/l	

É importante ressaltar que para o cálculo dos custos operacionais é necessário levar em consideração que os carros no início do período de 2015, que é o período que será analisado, começaram o período com a quilometragem zerada, como se fossem novos, dessa maneira nenhum carro será onerado nessa análise pelo uso no ano anterior.

Tendo feito o levantamento de dados, iniciaremos o cálculo dos custos de operação de 2015. Para isso levaremos em consideração algumas premissas básicas. Como são 2 os tipos de operação presentes na Truck Company, transporte ou locação, precisamos definir como serão efetuados os cálculos de quilometragem para cada tipo de operação.

Para o caso de locação, o carro é deslocado até o destino, e desse destino, ao final do serviço, ele retorna obrigatoriamente para o pátio. Isto significa que o carro não pode efetuar um serviço em uma localidade e partir para o próximo serviço sem retornar ao seu pátio de origem.

Para o caso de um transporte, onde é coletada uma carga e transportada de uma localidade para uma ou mais localidades diferentes, só será contabilizada a quilometragem entre o pátio de origem e a primeira localidade, somada a quilometragem do retorno da última localidade até o pátio de origem. A importância dessa premissa é porque em havendo uma alteração de pátios, as únicas distâncias que se alteram são as de ida à primeira localidade, e a volta ao pátio da última localidade, sendo então inalterados os deslocamentos entre as localidades intermediárias do serviço.

A partir dos dados fornecidos, foram confeccionados novos campos: "DISTÂNCIA IDA ATUAL" para sinalizar a distância do pátio onde o veículo designado se encontra até o "LOCAL 1" e em seguida a "DISTÂNCIA VOLTA ATUAL" para sinalizar a distância entre o "ULTIMO LOCAL" até o pátio onde o veículo designado está alocado. Esse procedimento foi repetido para todas as 9507 viagens presentes no relatório de vendas de 2012. Somando toda a coluna "DISTÂNCIA IDA ATUAL", e "DISTÂNCIA VOLTA ATUAL" chegamos aos seguintes resultados finais:

Tabela 6 – Distâncias totais gastos na situação atual. Fonte: Elaboração Própria

DISTÂNCIA IDA ATUAL	316.366,69	km
DISTÂNCIA VOLTA ATUAL	355.420,58	km
DISTÂNCIA TOTAL ATUAL	671.787,27	km

Além disso, das 9507 houve 6.036 viagens cujos caminhos até os destinos cruzavam vias com restrição, ou seja, **63,4%** do total. Utilizando os diferentes drivers de custeamento, estão calculados abaixo os custos incorridos dessa configuração atual.

Tabela 7 – Sumário de custos operacionais para os Pátios na situação atual. Fonte: Elaboração Própria

Custo da frota		Olaria	Duq	ue de Caxias
Custos de Combustível	R\$	330.941,18	R\$	565.166,27
Custo mensal pneus e câmaras	R\$	56.652,74	R\$	64.499,32
Custo com óleo motor	R\$	10.408,93	R\$	11.850,59
Custo com óleo transmissão	R\$	1.915,53	R\$	2.180,84
Custo com óleo hidráulico	R\$	19.516,74	R\$	22.219,86
Custo com graxas em kg	R\$	4.517,76	R\$	5.143,49
Seguro	R\$	66.111,11	R\$	73.888,89
Multas	R\$	7.083,33	R\$	7.916,67
Manutenção	R\$	74.512,10	R\$	112.929,89
Total	R\$	571.659,42	R\$	865.795,81

Além desses custos, há também os custos relativos à instalação. Seguem abaixo:

Tabela 8 – Sumário de custos de layout para os Pátios na situação atual. Fonte: Elaboração Própria

Custo da Instalação	Olaria	Duque de Caxias
Aluguel	R\$ 84.000,00	R\$ 180.000,00
Segurança	R\$ 36.000,00	R\$ 36.000,00
Total	R\$120.000,00	R\$216.000,00

Desta maneira o custo total do Pátio de Olaria é: **R\$ 691.659,42** e o custo total do Pátio de Duque de Caxias é: **R\$ 1.081.795,81**.

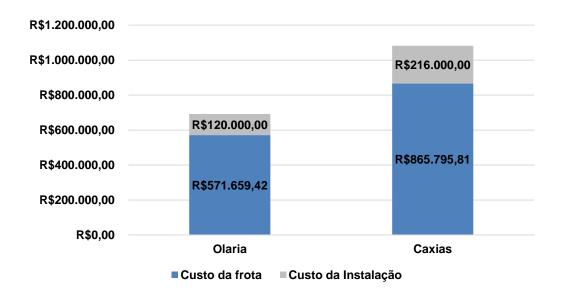


Figura 20 - Custos do cenário atual por pátio. Fonte: Elaboração Própria

Dessa forma, o custo total do cenário atual para 2015 é a soma dos custos dos dois pátios, logo: **R\$ 1.773.455,24.** A distribuição entre custo da frota e de instalação é ilustrada na figura abaixo.

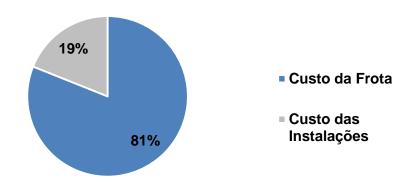


Figura 21 – Representatividade por categoria de custo no total do cenário atual. Fonte: Elaboração Própria

Tendo aferido o custo total da operação atualmente, o próximo passo é a análise de um modelo matemático para otimização do cenário atual, e em seguida a avaliação dos resultados.

4. Modelagem

4.1. Introdução

Empresas que tem como objetivo ser competitivos no mercado devem atentar a sua cadeia logística por inteiro. Essa análise tem como função melhorar o nível de serviço gerando pouco ou nenhum impacto nos custos, ou seja, aumentar a eficiência do sistema. Desse modo, é fundamental otimizar os fluxos de bens entre os atores da rede logística, que, geralmente, são os fornecedores, produtores, distribuidores e consumidores (Ambrosino & Scutellà, 2005).

O foco deste trabalho é focar nas questões organizacionais internas da cadeia de suprimentos, analisando problemas de design da rede que são típicos de produtores (ainda que sejam significantes para outros tipos de companhia, como distribuidores). O objetivo é otimizar o fluxo de bens na rede, no caso especifico desse trabalho, o fluxo de veículos, dos pátios ao ponto de demanda, ou seja, aos clientes.

Ainda de acordo com (Ambrosino & Scutellà, 2005), quando analisamos uma rede de distribuição, podemos usualmente distinguir entre:

- A otimização do fluxo de bens: nesse caso consideramos uma rede de distribuição já existente, e queremos otimizar o fluxo de bens nessa rede.
- A otimização da rede existente; nesse caso queremos escolher qual seria a melhor configuração de instalações na rede que satisfariam o objetivo da companhia de minimizar os custos.

Problemas de design na rede de distribuição envolvem ambos os tipos de análise. O problema de localização é uma área de pesquisa bem popular e conta com diversas abordagens para a sua solução. As soluções envolvem variam desde simulação, amostragem até abordagens heurísticas, e as vantagens de cada um desses métodos vem sendo alvo de debates ao longo dos anos (Ballou, 1984).

Os estudos de localização, de forma geral, tratam do problema de minimização dos custos de uma rede logística, estando esta rede sujeita às restrições de capacidade das instalações, de maneira a atender a uma determinada demanda e satisfazendo certos limites de nível de serviço (Lacerda, 1998). Os dados de entrada para análise são as previsões de demanda para cada produto, as limitações de capacidade e as taxas

de produção, as prováveis localizações das instalações, as possíveis ligações entre elas e os respectivos custos de transporte de cada modal.

O problema consiste mais precisamente em determinar qual é a melhor maneira de transferir os bens do fornecedor, aos pontos de demanda, escolhendo a estrutura de rede, enquanto se minimiza os custos gerais. No caso da empresa em estudo, não seriam produtos a serem transferidos, e sim o veículo em si, que executaria o serviço.

Dos modelos já bem documentados na literatura, pode-se dividi-los em basicamente três tipos (Wanke, et al., 2009):

 Modelos clássicos de localização de instalações que desconsideram os custos de manutenção de estoque

Esse tipo de problema, que é do tipo estático e determinístico, fornece o alicerce para grande parte da teoria de localização de instalações (Wanke, et al., 2009). Desenvolvida primeiramente por Hakimi em 1964, a formulação do problema assume que as demandas não são sensíveis ao nível de serviço e que havia um conjunto finito de localidades potencias para as instalações, o que caracteriza o problema como discreto.

 Modelos de localização de instalações que consideram custos de manutenção de estoques simplificados

Esse tipo de problema já incorpora os custos de estoque, ainda que de maneira simplificada. O modelo é apto a lidar com múltiplos produtos e modais de transporte, que deriva do clássico modelo de localização de instalações com custo fixo e capacidade (Wanke, et al., 2009).

 Modelos de localização de instalações que consideram efeitos de centralização de estoques

Esse tipo de modelo incorpora a teoria relativa a centralização dos estoques de ciclo e segurança.

4.2. O Modelo

Visto que o presente trabalho estuda uma empresa de serviços, e que não produz de fato nenhum produto, e, sim, fornece um serviço de aluguel, os custos de estoque em transito, manutenção de estoque, estoques de ciclo, e etc. não tem participação neste caso. Os custos que são relevantes nesse estudo são os descolamentos dos veículos até a demanda, e o custo de abertura de um novo pátio, uma nova localidade, para poder basear e estacionar os veículos quando estes não estão em serviço.

Desse modo, o modelo que mais se assemelha a operação da empresa faz parte do grupo de problemas resolvidos a partir de modelos clássicos. Mais especificamente o modelo que incorpora os custos de localização foram estudados por Owen e Daskin e são conhecidos na literatura por *Fixed Charge Facility Location Problems*. Esse nome, *Fixed Charge*, advém do fato do custo fixo resultante da abertura de uma nova localização (Owen & Daskin, 1998). Matematicamente, este problema é definido pela seguinte notação (Nozick & Turnquist, 1998):

```
i = índice do nó de demanda,
```

j =índice do nó que representa a localidade potencial de uma instalação,

 $\alpha = custo unitário de transporte,$

 $h_i = demanda no nó i,$

 $c_i = custo fixo de uma instalação localizada no nó j,$

 $d_{ij}=dist$ ância entre o nó de demanda i e o nó j que representa a localidade potencial de uma instalação,

 $W_i = capacidade da instalação localizada em j,$

As variáveis de decisão do problema de localização com custos fixos e capacidade são dadas por:

$$X_j = \begin{cases} 1 \text{ se uma instalação \'e localizada na potencial localidade } j, \\ 0 \text{ caso contr\'ario.} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \left\{ egin{array}{ll} 1 \ se \ a \ demanda \ do \ n\'o \ i \ \'e \ atendida \ pela \ instalação \ localizada \ em \ j, \ 0 \ caso \ contr\'ario. \end{array}
ight.$$

A função objetivo do problema de programação é mostrada na equação:

$$Minimizar \sum_{i} c_{j}X_{j} + \alpha \sum_{i} \sum_{i} h_{i}d_{ij}Y_{ij}$$

Sujeita as seguintes restrições:

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \; \forall i$$

$$Y_{ij} - X_j \le 0 \ \forall i, j$$

$$X_i \in \{0,1\} \, \forall j$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \, \forall i,j$$

A primeira restrição garante que toda demanda será alocada a uma instalação. Por sua vez, a segunda permite a alocação da demanda somente a instalações abertas. As duas seguintes, e ultimas, restrições garantem que as variáveis somente assumam os valores binários adequados.

O modelo, assim como já foi dito, adiciona um custo fixo adicional para cada instalação nova utilizada. Desse modo, caso um novo pátio seja necessário, os custos fixos inerentes ao funcionamento do pátio incorrem no modelo. No entanto, foi avaliado que um pátio que faz menos serviços, tem menos necessidade de espaço do que aquele que executa mais serviços, pela necessidade de mais veículos estacionados neste pátio.

E, por isso, para traduzir ainda melhor a realidade da operação da Truck Company, foi adicionado um fator adicional a parcela de custo fixo presente na função objetivo. Este fator adicional pondera a quantidade de serviços executados pelo pátio em questão, e seu tamanho, e, consequentemente, seu custo fixo. Este fator adicional é o fator F que torna o modelo mais complexo. Este fator torna o modelo não linear.

Outro ponto adicionado a questão do custo de instalação é a segurança. Esse ponto é um valor fixo, de R\$36.000,00, assim como na situação atual, e independe do tamanho da instalação, e incorre a cada vez que uma nova instalação é aberta.

Outra alteração importante ao modelo, foi a separação do parâmetro d_{ij} , a distância entre o nó de demanda i e o nó j da localidade potencial. Esse parâmetro foi separado em dois, sendo um para a distância de ida do nó de demanda i e a localidade

j, e um para a distância de volta. Isso porque como o veículo alugado pode realizar para o mesmo cliente serviços em mais de uma localidade, ele pode a princípio sair do pátio em direção ao ponto de demanda, porém retornar de um outro ponto.

Logo, o parâmetro h_{ij} também foi separado em dois, um para representar a demanda de serviços em um ponto, e outro para representar a "demanda" de volta de outro determinado ponto. Para exemplificar tal situação, podemos considerar um serviço na Barra da Tijuca, que termina em Jacarepaguá, e, portanto, há uma demanda de ida para a Barra da Tijuca, e uma "demanda" de volta de Jacarepaguá.

Portanto a função objetivo do modelo com as respectivas modificações fica da seguinte maneira (sublinhado, as modificações):

$$Minimizar \sum_{j} c_{j} X_{j} \boldsymbol{F_{j}} + \sum_{j} 36000 X_{j} + \alpha \left(\sum_{i} \sum_{j} h_{i} d_{ij} Y_{ij} + \sum_{k} \sum_{j} \boldsymbol{q_{k} v_{kj} P_{kj}} \right)$$

As novas variáveis, F_i e P_{kj} são dadas pelas seguintes formulas:

$$F_j = \frac{\sum_i h_i Y_{ij} + \sum_k q_k P_{kj}}{x}$$
, sendo x , a demanda total do sistema

 $P_{kj} = \left\{ \begin{matrix} 1~se~a~volta~do~n\acute{o}~k~\acute{e}~atendida~pela~instalaç\~ao~localizada~em~j,\\ 0~caso~contr\'ario. \end{matrix} \right.$ variável análoga a Y_{ij}

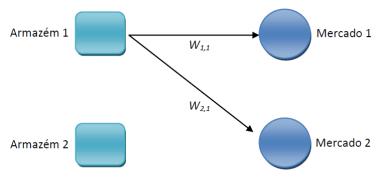
4.3. Considerações ao uso do Modelo

Como explicado anteriormente no item 1.3, por conta da falta de dados sobre o tempo médio de duração dos serviços prestados todas as possíveis análises sobre estoque (número de veículos) ficam prejudicadas, pois para realizar a mesma, teriam de ser feitas suposições e simplificações que prejudicariam e não resultariam em um resultado satisfatório. Portanto, neste modelo não está sendo levado em conta os custos de estoque, que no caso da Truck Company são os veículos em si.

Mesmo que os custos de estoques não estejam sendo considerados, algumas considerações sobre alocações de estoque devem de ser feitas. Dessas, somente as pertencentes ao conjunto de estratégias de *risk pooling* podem ser consideradas impactantes no planejamento de redes de distribuição, de acordo com (Jorge, 2008).

Ainda, de acordo com o autor, *risk pooling* pode ser considerado um conjunto de assuntos mais específicos, como a centralização de estoques, a análise de múltiplas fontes de fornecimento, a transferência de estoques entre centros de distribuição e padronização de peças e componentes para produção e reposição. A partir destas técnicas de *risk pooling*, ou a ausência delas, pode-se definir políticas de alocação de estoques, ou de agrupamento das demandas nos armazéns de uma rede de distribuição (Wanke, et al., 2009). De acordo com (Wanke & Saliby, 2009), são três as principais políticas.

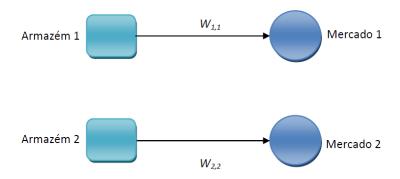
A primeira é a centralização total dos estoques em um único armazém. Essa política é ilustrada esquematicamente na Figura 22 para uma situação particular com dois armazéns e dois mercados. Nela, as demandas de todos os mercados consumidores são alocadas a um único armazém. Nessa política, (Maister, 1976) identificou a possibilidade de redução do nível de estoque de segurança de um produto, sem impactar o nível de serviço, a partir do que ele chamou de "Regra da Raiz Quadrada" (Square Root Law). Outras bibliografias sobre o assunto, associam essa consolidação aos termos *portfolio effect, consolidation effect, inventory pooling*, entre outros.



 $W_{i,i}$ = Proporção da demanda do mercado i alocada ao armazém j

Figura 22 – Centralização total de estoques para o caso particular com dois armazéns e dois mercados. Fonte: (Wanke, et al., 2009)

A segunda política destacada por (Wanke & Saliby, 2009) é a dos sistemas independentes. Esta política é caracterizada pela dedicação total dos armazéns aos mercados e ausência total de *risk pooling*. Deste modo, cada mercado é atendido exclusivamente por um único armazém. Essa política de sistemas independentes é ilustrada na Figura 23 para o caso particular com dois armazéns e dois mercados.

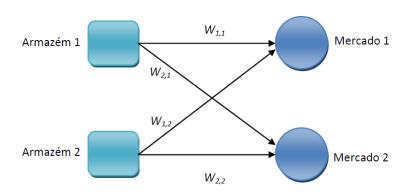


 $W_{i,j}$ = Proporção da demanda do mercado i alocada ao armazém j

Figura 23 – Sistemas independentes para o caso particular com dois armazéns e dois mercados.

Fonte: (Wanke, et al., 2009)

A terceira política é de transferências regulares ou também conhecida na literatura como *cross-filling* total (Ballou & Burnetas, 2003), *transshipiments* e *lateral shipments*. Nessa política se considera o estabelecimento de uma política de transferência de produtos entre as instalações utilizadas como estoque. Nessa situação todos os mercados são servidos por todos os armazéns presentes na rede. As transferências podem ser tanto corriqueiras como também emergenciais, ocorrendo somente quando o centro de distribuição ao qual o cliente foi alocado não possuir estoque suficiente para satisfazer a demanda (Jorge, 2008). Ela é ilustrada na Figura 24 para o caso particular com dois armazéns e dois mercados.



 $W_{i,j}$ = Proporção da demanda do mercado i alocada ao armazém j

Figura 24 – Transferências regulares, ou *cross-filling* total, para o caso particular com dois armazéns e dois mercados. Fonte: (Wanke, et al., 2009)

Das políticas de alocação de estoques apresentadas acima, será utilizada a segunda política na modelagem usada, de sistemas independentes. O que quer dizer que cada mercado será atendido por uma instalação, e somente ela. O uso dessa política se dá pelo fato de ser uma configuração mais simples do ponto de vista

gerencial, e também significa que os centros de distribuições ficariam mais próximos aos clientes, consequentemente, minimizando os custos de operação. No entanto, esse possível benefício pode não ser suficiente para compensar os prejuízos causados pela ausência de uma técnica de *risk pooling*, por exemplo, o aumento do custo de estoque.

Também há de ser pontuado que o modelo não implica necessariamente em uma regra de como o sistema tem de se comportar. Em uma situação real, a política de transferências poderia ser adotada em paralelo aos sistemas independentes, em regime emergencial, ou corriqueiramente e desse modo, adotar um sistema misto como proposto por (Wanke, et al., 2009).

Outro fator a ser levado em consideração na modelagem é a não diferenciação de serviços, sendo o objetivo do modelo reduzir o custo total do sistema. A justificativa para essa escolha é porque desagregar as viagens por tipo de veículo não traria nenhum impacto para o resultado do modelo. Isto porque o grande objetivo do modelo é reduzir o custo total da operação que é impactado diretamente pela quilometragem percorrida e pelos custos de instalações.

Não faz diferença pro modelo se a distância é percorrida por um munck, guindaste ou carreta, ou se o serviço é de transporte, ou locação, só importa que a soma de todas as distâncias de todos os serviços prestados possibilite o custo mínimo de operação. Dessa maneira, mesmo a empresa possuindo três tipos de veículos (carretas, muncks, e guindastes) não será resultado do modelo apontar qual será a alocação desses veículos nos pátios. O modelo apenas aponta, quais pontos de demanda serão atendidos por cada pátio aberto.

Outra implicação relacionada aos custos de estoque no modelo é que, conforme ilustrado na Figura 4, a medida que o número de instalações aumenta, os custos de oportunidade de manter estoques e os custos fixos de instalação aumentam e o custo de transporte diminui. Os dois últimos custos mencionados são abordados no modelo utilizado e este efeito ficará bem claro no capítulo de resultados.

Já o custo de manter estoque não está sendo considerado porque a Truck Company não é uma indústria comum como as que deram origem à Figura 4. A empresa não possui estoque de produtos que são entregues ao mercado consumidor. Na verdade, o estoque da empresa são os seus veículos que ficam em estacionamentos à

espera dos serviços a serem realizados. Foi decidido não considerar o custo de estoque porque, no limite, ele pode ser evitado com uma política de atendimento flexível.

O custo de manter estoques aumenta quando o número de instalações aumenta porque o somatório do estoque de uma rede descentralizada é maior do que o somatório do estoque de uma rede centralizada (Maister, 1976). Por exemplo, se uma empresa possui 5 armazéns e cada armazém abastece 1 município, a soma dos estoques dos 5 armazéns seria maior do o estoque de 1 armazém que abastecesse os 5 municípios.

Este assunto é amplamente estudado e está relacionado ao estoque de segurança necessário para manter o nível de serviço em cada armazém. Estoques são dimensionados de acordo com os mercados que eles precisam atender. No caso de estoques centralizados, (Jorge, 2008) afirma que a possível redução no custo de estoque de segurança mantendo-se o nível de serviço constante, está ligada à mitigação do risco da demanda (medido por sua oscilação em torno da média). Quando a distribuição é centralizada, torna-se viável, exceto em situações de correlação positiva, explorar compensações nas quantidades demandadas pelos diferentes mercados atendidos. Se a demanda em um mercado ficar acima da média, isto não será problema para o estoque desde que a demanda fique abaixo da média em outros mercados. Já quando a distribuição é descentralizada, não é possível realizar essas compensações porque cada unidade deve estar preparada para enfrentar oscilações na demanda isoladamente (Jorge, 2008).

O custo de estoque geralmente é muito alto, principalmente porque as empresas tendem a possuir muitos SKUs (*Stock Keeping Unit*), centenas na maioria dos casos. No caso da empresa estudada, só existem 3 SKUs, que são os tipos de veículos, isto simplifica a gestão do estoque e diminui o custo dele.

Para estudar o efeito do custo de estoque na operação da Truck Company, seria necessário dimensionar a frota ótima para os resultados e incorporar, por fora do modelo, o custo anual de se manter esta frota definida ao custo resultante do modelo. Como mencionado no começo do trabalho, foi decidido não focar este projeto no dimensionamento da frota principalmente por causa da dificuldade de se medir a duração média de um serviço prestado.

Outro ponto para a não consideração do custo de oportunidade de se manter estoque na Truck Company é que, no limite, o dimensionamento poderia ser feito a partir

do total de viagens, como num cenário centralizado, e não a partir do total de viagens por localização aberta, cenário descentralizado. Desta forma, o custo de oportunidade do estoque seria o mesmo independente do total de estacionamentos a serem abertos e portanto não seria um fator decisivo no planejamento da rede logística.

Neste caso, como dito anteriormente, a empresa seria forçada a flexibilizar a política de sistemas independentes adotada, e adotar um sistema misto. A empresa poderia adotar o *cross-filling* quando o veículo necessário para atender a demanda não estivesse disponível, ou seja, se um serviço fosse solicitado ao pátio de Olaria por ser o pátio mais próximo e nesse pátio não houvesse veículo disponível para atender a demanda, o serviço poderia ser feito por um veículo de outro pátio. Desta forma, o estoque total de veículos necessário seria o mesmo que um cenário centralizado, a única penalização seria a partir do deslocamento maior a ser realizado.

4.4. O AIMMS

AIMMS⁶ é um acrônimo para "Advanced Interactive Multidimensional Modeling System", e é um sistema de software para modelagem e resolução de problemas de otimização e agendamento. Consiste basicamente de uma linguagem de modelagem algébrica, um ambiente de desenvolvimento integrado tanto para edição de modelos quanto para criação de uma interface de usuário para os mesmos, e um ambiente gráfico ao usuário final.

4.4.1. Obtenção de dados

De modo a poder executar o modelo criado no AIMMS, é preciso inserir os dados relativos aos parâmetros e sets. Estes estão listados a seguir, seguidos dos seus respectivos dados e método de obtenção:

• i = índice do nó de demanda de ida

Estes foram extraídos do relatório de vendas, é o sumário de todos as viagens de ida realizadas durante o período em estudo. Os dados que entram aqui são os 160 destinos diferentes, que incluem Barra da Tijuca, Campo Grande, Olaria, entre outros.

.

⁶ Para mais informações: http://www.aimms.com/

• k =indice do nó de demanda de volta

Assim como no item anterior, é o sumário de todas as viagens de volta aos pátios realizadas durante o período. Os dados que fazem parte desse *set*, são os 168 locais diferentes que foram os últimos destinos dos veículos e de onde estes voltaram aos pátios. Exemplos: Jacarepaguá, Niterói e Centro.

ullet j= índice do nó que representa a localidade de uma instalação

Estes índices foram extraídos da análise de vendas, onde foram extraídas as localizações onde houve a maior demanda. Foi realizado um gráfico de Pareto onde se evidenciou as 25 localidades que representavam 80% das viagens feitas no período (vide item 3.1). Essas localidades são as que seguem na seguinte lista:

- √ Campo Grande
- ✓ Barra da Tijuca
- ✓ Jacarepaguá
- ✓ Santa Cruz
- ✓ Itaguaí
- ✓ Nova Iguaçu
- √ Recreio dos Bandeirantes
- ✓ São Gonçalo
- ✓ Pavuna
- ✓ Guaratiba
- ✓ Del Castilho
- ✓ Vargem Grande
- ✓ Vargem✓ Curicíca
- ✓ Centro
- ✓ Duque de Caxias
- ✓ Bonsucesso
- ✓ Olaria
- ✓ Caju
- ✓ Ilha do Governador
- ✓ Niterói
- ✓ Itaboraí
- ✓ São Cristóvão
- ✓ Arraial do Cabo
- ✓ Taquara
- ✓ Botafogo

• $h_i = demanda no nó i$,

Também a partir do relatório de vendas foram agrupadas todas as demandas por cada localidade, realizando uma contagem de quantas vezes eram feitas viagens para cada um dos destinos denotados por *i*. Por exemplo, como na tabela abaixo:

Tabela 9 – Lista de nós de demanda do modelo, e seus respectivos valores de demanda. Fonte: Elaboração Própria

Nó de demanda i	h_i
Campo Grande	1328
Barra da Tijuca	1312
Jacarepaguá	579
Niterói	529
Centro	508
Duque de Caxias	445
Itaboraí	328
Itaguaí	258
Bonsucesso	230
Olaria	204

• $q_k = demanda$ no nó de retorno k,

Assim como o anterior, este denota a demanda nos nós k, ou seja, os de retorno ao pátio. Segue um exemplo na tabela abaixo:

Tabela 10 – Lista de nós de demanda de retorno do modelo, e seus respectivos valores de demanda. Fonte: Elaboração Própria

Nó de demanda k	<i>a</i>
	q_k
Barra da Tijuca	1348
Campo Grande	1313
Jacarepaguá	701
Niterói	554
Centro	551
Duque de Caxias	428
Itaboraí	341
Recreio dos Bandeirantes	241
Caju	238
Itaguaí	211

• $\alpha = custo unitário de transporte,$

Esse coeficiente ao qual serão multiplicados os resultados dos somatórios é proveniente dos drivers de custos demonstrados na Tabela 4. Esse coeficiente é o custo em R\$ por km. Por exemplo, uma reposição de pneus deve ocorrer a cada 40.000km, e cada caminhão possui 6 pneus, e cada pneu custa R\$ 980,00 + R\$65,00 referentes a câmara. Ou seja, a cada 40.000 km, serão gastos R\$ 6.270,00 na reposição de pneus, ou simplificando, a cada 1 km, R\$ 0,16. A soma de todos os drivers de custo, como preço do diesel, óleos, etc., por quilometro rodado, é R\$ 1,63.

• $c_i = custo fixo de uma instalação localizada no nó j,$

O custo fixo da instalação foi retirado de um site catálogo de imóveis, o ZAP imóveis⁷. Foram buscados os custos de alugueis dos locais denotados por *j*. Em entrevista com o diretor da empresa em questão, nos foi passado um valor de aluguel anual de R\$ 240.000,00 em um imóvel de 10.000 m² em Duque de Caxias. O valor médio do metro quadrado no mesmo lugar achado no site foi de R\$ 23,00 o que se aproxima do valor informado. Usando este dado, foi usado um fator de correção no m² em todas as localidades. Todos os alugueis foram calculados para 10.000m² que é a área necessária de um pátio com capacidade para os 72 veículos da empresa. A lista de custos fixos é a que segue:

Tabela 11 – Valores de m² por localidade, e os seus respectivos aluguéis relativos a uma área de 10.000m². Fonte: Elaboração Própria

	R\$/m²	Aluguel
Campo Grande	41	R\$ 427.826
Barra da Tijuca	69	R\$ 720.000
Jacarepaguá	59	R\$ 615.652
Niterói	22	R\$ 229.565
Centro	53	R\$ 553.043
Duque de Caxias	23	R\$ 240.000
Itaboraí	16	R\$ 166.957
Itaguaí	30	R\$ 313.043
Bonsucesso	25	R\$ 260.870
Olaria	20	R\$ 208.696
Nova Iguaçu	15	R\$ 156.522
Caju	18	R\$ 187.826

⁷ O site pode ser encontrado no seguinte endereço: http://www.zapimoveis.com.br/

-

Recreio dos bandeirantes	58	R\$ 605.217
Ilha do Governador	33	R\$ 344.348
São Gonçalo	17	R\$ 177.391
Santa Cruz	18	R\$ 187.826
Pavuna	24	R\$ 250.435
Guaratiba	28	R\$ 292.174
Del Castilho	66	R\$ 688.696
Vargem Grande	45	R\$ 469.565
São Cristóvão	32	R\$ 333.913
Arraial do Cabo	12	R\$ 125.217
Taquara	42	R\$ 438.261
Curicíca	57	R\$ 594.783
Botafogo	64	R\$ 667.826

• $d_{ij} = distância$ entre o nó de demanda i e o nó j

A distância entre o nó de demanda i e a localização de um potencial pátio j foi calculada a partir do mesmo método usado no item 3.3 – Custo Total Atual, ou seja, foram transformados todos os destinos em coordenadas geográficas usando o *Google Geocode API*, e em seguida usando o *Google Directions API*, as distâncias de cada nó de demanda ao possível pátio. A matriz de distâncias resultantes é 160x25, ou seja, 4000 distâncias foram calculadas usando esse método. As distâncias resultantes estão em metros.

Juntamente com esse método, foram buscados os tempos de deslocamento e se o trajeto passa por algum ponto com restrição ao deslocamento de veículos pesados. Esses dados não entraram no modelo, porém serão usados para em seguida calcular esses indicadores. Segue a seguir, um exemplo da tabela resultante. Lê-se "Para chegar em Campo Grande, saindo da Barra da Tijuca, percorro 42677 metros".

Tabela 12 – Matriz de distância entre o nó de demanda e o nó de localidade. Fonte: Elaboração Própria

Local ida	Campo Grande	Barra da Tijuca	Jacarepaguá	Niterói	Centro
Campo Grande	0	42677	38231	60302	52708
Barra da Tijuca	42220	0	7696	42300	34707
Jacarepaguá	38990	7071	0	39278	31685
Niterói	60430	43597	41209	0	20022
Centro	52048	35215	32827	19445	0
Duque de Caxias	39156	38629	36241	30284	22973
Itaboraí	91356	74522	72134	33652	50947

• $v_{kj} = distancia entre o nó de demanda k e o nó j$

Assim como o anterior, é calculado da mesma maneira. Como são 168 nós de demandas k, essa matriz é ligeiramente maior, 168x25, ou seja, 4200 distâncias calculadas. O resultado é apresentado parcialmente na tabela abaixo. Lê-se "Para voltar de Itaboraí, para a Barra da Tijuca, percorro 74258 metros".

Tabela 13 – Matriz de distância entre o nó de demanda de retorno e o nó de localidade. Fonte: Elaboração Própria

Local Volta	Campo Grande	Barra da Tijuca	Jacarepaguá	Niterói	Centro
Barra da Tijuca	42674	0	7071	43597	35215
Campo Grande	0	42220	38990	60431	52049
Jacarepaguá	38228	7696	0	41209	32827
Niterói	60302	42300	39278	0	19445
Centro	52708	34707	31685	20022	0
Duque de Caxias	37376	40008	36986	32629	23945
Itaboraí	92260	74258	71236	35635	51403

Tendo os dados em mãos, podemos rodar a modelagem e, dessa maneira, otimizar a operação da empresa.

5. Resultados

Este item apresentará os *outputs* da modelagem matemática apresentada no item anterior. Serão exibidos dois resultados diferentes decorrentes do uso do mesmo modelo, apresentados como dois cenários. Em um deles será mostrado o resultado do modelo exatamente como proposto no item anterior. No segundo, foi adicionado uma restrição ao número máximo de instalações a serem abertas pelo modelo buscando um resultado com maior aderência à realidade.

Inicialmente, o objetivo era que o resultado do modelo fosse um só. Porém, ao rodar o modelo e analisar criticamente os resultados, foi identificada a necessidade de realizar uma alteração nas restrições e criar um cenário alternativo para este caso.

Portanto teremos dois cenários:

- Cenário 1 com o modelo rodando livremente
- Cenário 2 com a restrição de número máximo de localizações a serem abertas.

5.1. Cenário 1 – Sem restrições ao número de instalações

Este item busca resumir os resultados que foram obtidos a partir da execução do modelo apresentado no item 4. Como mencionado anteriormente, neste cenário não existe nenhuma limitação ao número total de instalações a serem abertas. É importante entender o que os resultados apresentados nesta etapa do trabalho representam. Neste caso, o modelo foi capaz de avaliar todas as possibilidades a partir do input de 25 localizações possíveis e definiu como seria a configuração ideal da rede logística da empresa, ou seja, quantos estacionamentos e qual a localizações destes estacionamentos minimizam o custo total anual da operação.

O número de possibilidades para a configuração de rede com 25 localizações potenciais e sem restrição ao número total de instalações a serem abertas é absurdo. Seria inviável explorar todas as possibilidades sem a ajuda de um modelo matemático, ou seja, calculando o custo de cada cenário. A tabela abaixo indica o número de instalações e suas localizações que minimizam o custo total anual da Truck Company.

Tabela 14 – Porcentagem de utilização dos pátios em relação a demanda, no Cenário 1. Fonte: Elaboração Própria

Pátio	Nº de Viagens/ano	% da demanda
Olaria	3464	36,43%
Recreio dos Bandeirantes	2616	27,51%
Campo Grande	2094	22,03%
Niterói	710	7,47%
Itaboraí	415	4,37%
Arraial do Cabo	208	2,19%
Total	9507	100%

A tabela acima mostra que o modelo sugeriu a abertura de 6 instalações espalhadas pelo estado do Rio de Janeiro, triplicando o número de estacionamento que a empresa utiliza na operação atual. É importante notar que os 3 maiores estacionamentos (Olaria, Recreio e Campo Grande) estão na cidade do Rio de Janeiro e representam 86% da demanda. Este resultado faz todo sentindo quando comparado com o mapeamento da demanda realizado no item 3.1. A figura abaixo ilustra os dados apresentados na tabela acima.

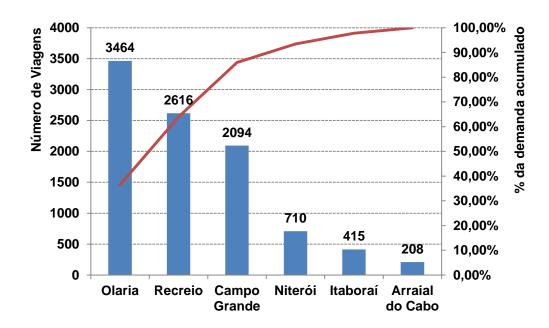


Figura 25 - Demanda atendida por instalação no cenário 1. Fonte: Elaboração Própria

5.1.1. Custos do Cenário 1 - Sem restrições ao número de instalações

Neste item iremos apresentar o custo total oriundo da configuração de rede logística resultante do modelo e apresentada no item anterior. A tabela abaixo compila as distâncias que os veículos da Truck Company iriam percorrer se os 6 pátios resultantes fossem abertos.

Tabela 15 - Distâncias totais gastos no Cenário 1. Fonte: Elaboração Própria

DISTÂNCIA IDA ATUAL	144.593,33	km
DISTÂNCIA VOLTA ATUAL	141.890,65	km
DISTÂNCIA TOTAL ATUAL	286.483,98	km

Podemos perceber uma redução de 385 mil quilômetros em relação ao total percorrido no cenário atual, das 9507 houve **789** viagens cujos caminhos até os destinos cruzavam vias com restrição, ou seja, **8,30%** do total. Ou seja, **5.247** viagens que deixaram de passar por vias restritas.

Tabela 16 - Custos de operação no Cenário 1. Fonte: Elaboração Própria

Custos da frota	Reais
Custos de Combustível	R\$ 393.280,66
Custo mensal pneus e câmaras	R\$ 44.882,96
Custo com óleo motor	R\$ 8.246,44
Custo com óleo transmissão	R\$ 1.517,57
Custo com óleo hidráulico	R\$ 15.462,07
Custo com graxas em kg	R\$ 3.579,18
Seguro	R\$ 140.000,00
Multas	R\$ 15.000,00
Manutenção	R\$ 58.992,10
Total	R\$ 680.960,99

A partir da soma dos drivers de custo operacional, chegamos ao valor total de: **R\$ 680.960,99**, valor este muito inferior aos R\$ 1.437.455,23 da situação atual. Essa diminuição é devido ao aumento claro do número de instalações presentes no Cenário,

de 2, atualmente, para 6 pátios. Esta diminuição no custo operacional resultou de uma configuração de rede logística mais espalhada pelo Rio de Janeiro, e por consequência, mais próxima ao cliente. Esta configuração reduz a necessidade de deslocamento dos veículos, reduzindo também drasticamente os drivers de custo.

Tabela 17 - Custo de Instalação no Cenário 1. Fonte: Elaboração Própria

Custo da Instalação	Olaria	Recreio	Campo Grande	Niterói	Itaboraí	Arraial do Cabo
Aluguel	R\$ 76.030	R\$ 166.503	R\$ 94.232	R\$ 17.156	R\$ 7.288	R\$ 2.746
Segurança	R\$ 36.000	R\$ 36.000	R\$ 36.000	R\$36.000	R\$36.000	R\$36.000
Total	R\$ 112.030	R\$ 202.503	R\$ 130.232	R\$ 53.156	R\$ 43.288	R\$ 38.746

A partir da soma dos totais parciais dos pátios, chegamos ao valor do custo total fixo relativo às instalações: **R\$ 579.956,26**. Esse valor é bem maior que o valor de R\$ 336.000,00 apresentado na Situação Atual. E isso também se deve a essa nova configuração da rede logística. Por estar mais próximo ao cliente, de modo a diminuir os custos operacionais, a consequência foi aumentar o custo fixo de instalação.

Deste modo, mesmo que o custo de instalação tenha um gasto adicional de R\$ 243.956,26, a redução nos custos operacionais foi de R\$ 756.494,24, gerando em uma redução em gastos totais de **R\$ 512.537,99** em cima da situação atual e resultando em um custo total do Cenário de **R\$ 1.260.917,25**, isto é, uma redução de **28,90%** da situação atual.

No entanto, o que percebemos é que o resultado de aluguel para os pátios de Arraial do Cabo, Itaboraí e Niterói são irreais visto que estes corresponderiam ao aluguel de um imóvel pelo período de 12 meses.

Neste caso, seria razoável imaginar que em um local com baixa demanda, como ltaboraí, fosse possível alugar um espaço em garagem de terceiros, para evitar voltas desnecessárias de veículos a pátios. Isto serviria ao propósito de evitar uma volta desnecessária a um pátio próximo, e manteria os veículos próximos aos clientes mantendo a presteza ao atendimento ao cliente e o nível de serviço. Contudo, a adição de um custo relativo a segurança, como está no modelo, no valor de R\$ 36.000,00 por localização, é desnecessário, porque a princípio o espaço alugado já contaria com esse serviço.

Se for avaliado dessa maneira, e esses custos dessas localidades (Arraial, Itaboraí e Niterói) corresponderem ao aluguel de vagas, em pátios de terceiros, o resultado do custo de Cenário 1 pode de ser subtraído de R\$ 108.000,00, que corresponderiam aos valores de segurança dos pátios, e que não seriam gastos nesse caso, resultando no valor de **R\$ 1.152.917,25**.

De todo modo, caso a empresa não pudesse contar com esse aluguel de vagas, será realizado um segundo cenário, e suas características estão apresentadas no item 5.2.

5.1.2. Diagrama de Interligações Preferenciais

Uma boa analogia para se pensar para as linhas, é que estas funcionam como um elástico, e as linhas mais espessas representam elásticos que possuem mais força de atração, igualmente para as menos espessas, porém com menos força. O resultado dessas forças, é apresentado abaixo. A partir da observação do DIP pode-se notar, comparando com o da situação atual, que as linhas deixam de se cruzar e que as linhas que eram mais espessas, ou seja, aqueles que representavam uma demanda maior, estão mais curtas, visualmente mostrando a diminuição das necessidades de deslocamento.

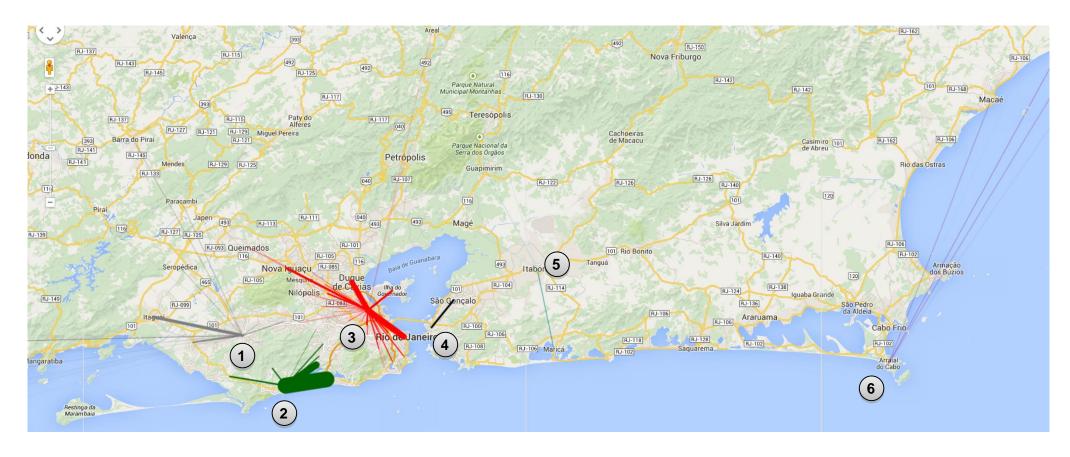


Figura 26 – DIP do Cenário 1. (1) representa o Pátio em Campo Grande, (2) no Recreio dos Bandeirantes, (3) em Olaria, (4) em Niterói, (5) em Itaboraí e (6) em Arraial do Cabo. As linhas representam as viagens, e sua espessura a quantidade de viagens realizadas. Fonte: Elaboração Própria

5.2. Cenário 2 – Com restrição ao número de instalações

O Cenário 2, foi criado, como explicado anteriormente, com a adição de uma restrição adicional ao número de instalações. Esta imposição se deu principalmente pelo fato de que alguns dos resultados apresentados pelo Cenário 1 são irreais. Por exemplo, no Cenário 1, por conta da baixa demanda no pátio de Arraial do Cabo, o custo fixo da instalação, que na modelagem é proporcional à demanda, também fica baixo, e não corresponde à realidade.

Dessa maneira o mesmo modelo foi alterado para conter uma restrição ao número de instalações de maneira que todas as instalações possuíssem parcela considerável da demanda total. Como o resultado sem restrições ao número de instalações foi de 6 pátios, dessa maneira partimos deste ponto, de modo que o *output* do modelo apresentasse um resultado factível, ou seja, onde os valores de aluguel para os pátios pudessem ser encontrados no mercado.

A restrição que proporcionou o resultado com as características apresentadas anteriormente foi a seguinte:

$$\sum_{i} X_{j} \leq 3$$

Essa restrição além de cumprir o papel de tornar o resultado factível, tornou o resultado mais interessante do ponto de vista gerencial. Em uma conversa anterior, foi informado que a gestão dos pátios, por mais que pareça simples, é complexa, e exige monitoramento contínuo para garantir o nível de serviço exigido pelos clientes. Para tanto, é preciso que a média gerência esteja constantemente próxima a operação. Deste modo, um número reduzido de pátios serve ao propósito de manter a operação simplificada do ponto de vista gerencial. Para gerir 6 pátios, como apresentado no cenário 1, provavelmente existiriam custos extras, não computados no modelo, relativos à gestão da operação. Por exemplo: mais gestores a serem contratados e um sistema de TI mais robusto para controlar as viagens de cada pátio.

O resultado do modelo utilizando a restrição apresentada acima é o que segue:

Tabela 18 – Porcentagem de utilização dos pátios em relação a demanda, no Cenário 2. Fonte: Elaboração Própria

Pátio	Nº de Viagens	% da demanda
Olaria	4797	50,46%
Recreio dos Bandeirantes	2616	27,51%
Campo Grande	2094	22,03%
Total	9507	100%

A partir da análise preliminar desses dados, podemos já observar que os pátios do Recreio dos Bandeirantes e de Campo Grande mantiveram suas participações na demanda intacta. Ou seja, a diminuição no número de pátios não resultou num aumento de demanda para estes, no entanto, houve aumento significativo na porção de demanda atendida por Olaria, de 36,43% para 50,46%, isto é, mais 1.333 viagens saindo deste pátio. O que observamos aqui é a absorção por parte do pátio de Olaria das demandas de Niterói, Itaboraí e Arraial do Cabo apresentadas no resultado do Cenário 1.

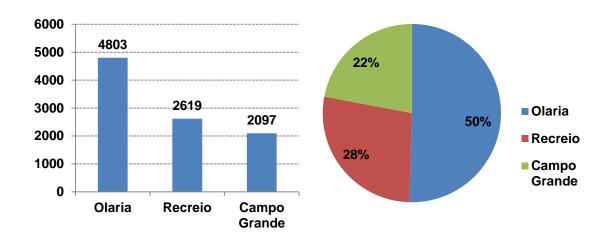


Figura 27 – (À Esquerda) Viagens por pátio aberto. (À Direita) Representatividade por pátio.

Fonte: Elaboração Própria

5.2.1. Custos do Cenário 2 - Com restrição ao número de instalações

Neste item iremos apresentar o custo total oriundo da configuração de rede logística resultante do modelo com restrição e apresentada no item anterior. A tabela abaixo compila as distâncias que os veículos da Truck Company iriam percorrer se os 3 pátios resultantes fossem abertos.

Tabela 19 - Distâncias totais gastos no cenário 2. Fonte: Elaboração Própria

DISTÂNCIA IDA ATUAL	188.042,40	km
DISTÂNCIA VOLTA ATUAL	219.785,93	km
DISTÂNCIA TOTAL ATUAL	407.828,33	km

Podemos perceber uma redução de 263 mil quilômetros em relação ao total percorrido no cenário atual, das 9507 também houve **789** viagens cujos caminhos até os destinos cruzavam vias com restrição, ou seja, **8,30%** do total. Ou seja, **5.247** viagens que deixaram de passar por vias restritas.

Tabela 20 - Custos de operação no Cenário 2. Fonte: Elaboração Própria

Custos da frota	Reais
Custos de Combustível	R\$ 559.860,27
Custo mensal pneus e câmaras	R\$ 63.893,77
Custo com óleo motor	R\$ 11.739,33
Custo com óleo transmissão	R\$ 2.160,36
Custo com óleo hidráulico	R\$ 22.011,25
Custo com graxas em kg	R\$ 5.095,20
Seguro	R\$ 140.000,00
Multas	R\$ 15.000,00
Manutenção	R\$ 83.979,04
Total	R\$ 903.739,23

Fazendo a soma dos drivers de custo operacional, chegamos ao valor total de: R\$ 903.739,23, valor este também inferior aos R\$ 1.437.455,23 da situação atual. Pela

mesma razão do primeiro cenário, a diminuição é devido ao aumento do número de instalações. No entanto, se compararmos ao Cenário 1, há um aumento de R\$ 222.778,24 nos gastos operacionais, devido a diminuição de 6 para 3 o número de pátios a serem abertos.

Tabela 21 – Custos de instalação no Cenário 2. Fonte: Elaboração Própria

Custo da Instalação	Olaria	Recreio	Campo Grande
Aluguel	R\$ 105.313,88	R\$ 166.503,11	R\$ 94.232,42
Segurança	R\$ 36.000,00	R\$ 36.000,00	R\$ 36.000,00
Total	R\$ 141.313,88	202.503,11	R\$ 130.232,42

Somando os totais parciais dos pátios, chegamos ao valor do custo total fixo relativo às instalações: **R\$ 474.049,41**. Esse valor é maior que o valor de R\$ 336.000,00 apresentado na Situação Atual, também por razão da configuração da rede, apresentando 1 pátio a mais que atualmente. Porém, comparado ao Cenário 1, que apresentava 6 pátios, o custo fixo neste caso diminuiu R\$ 105.906,85.

Deste modo, em relação ao Cenário 1, o Cenário 2, cujo custo total foi de **R\$** 1.377.788,64, teve a diminuição dos custos fixos sobrepujada pelo aumento do custo operacional, gerando um gasto adicional de R\$ 116.871,39, ou seja, um aumento de 9,27%. Esse aumento em gastos pode ser entendido como um custo de simplificação da operação, pelo uso de número reduzido de pátios, de modo que seria uma penalidade ao uso dessa configuração, esta que os diretores já demonstraram que estão dispostos a arcar.

Essa despesa na verdade não é adicional, se comparado a situação atual. Na comparação com o cenário atual, existe um gasto adicional em custos fixos de R\$ 138.049,41, porém esse gasto adicional é absorvido pelas economias nas despesas operacionais que acumulam R\$ 533.716,00. Ou seja, esse cenário mesmo que se configure como mais simples operacionalmente que o Cenário 1, ainda gera uma economia de **R\$ 395.666,59**, em 1, ano em relação a situação atual.

5.2.2. Diagrama de Interligações Preferenciais

Assim como no cenário anterior, o DIP está representado abaixo. Vale a observação da absorção da demanda que aconteceu no pátio de Olaria, pela ausência dos pátios de Niterói, Itaboraí e Arraial do Cabo.

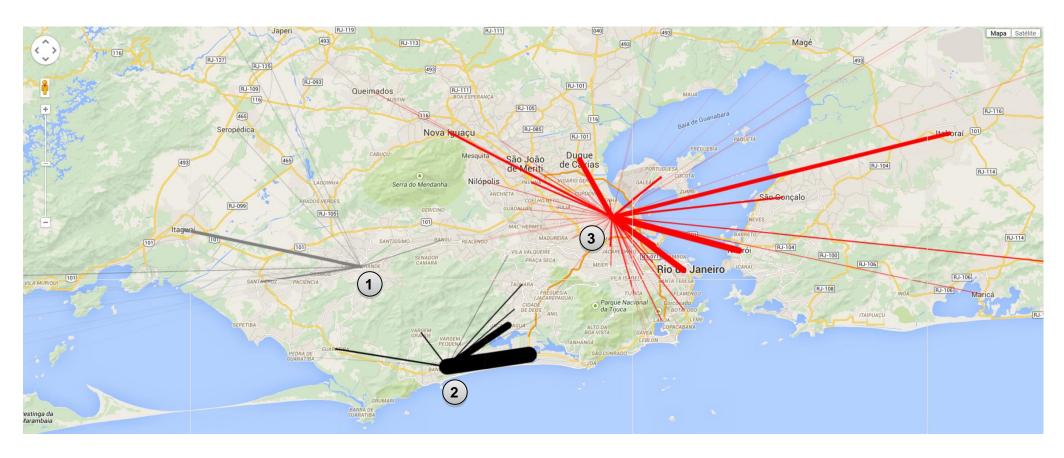


Figura 28 – DIP do Cenário 2. (1) representa o Pátio em Campo Grande, (2) no Recreio dos Bandeirantes e (3) em Olaria. As linhas representam as viagens, e sua espessura a quantidade de viagens realizadas. Fonte: Elaboração Própria

5.3. Resumo Comparativo

Este item é um resumo dos resultados apresentados anteriormente. A tabela abaixo sintetiza e compara com o cenário atual os resultados quantitativos do cenário 1 e do cenário 2. As porcentagens são as variações em relação ao cenário atual.

Tabela 22 – Tabela comparativa entre a situação atual, e os cenários. Fonte: Elaboração Própria

	Ce	nário Atual	Cenário 1		Cenário 2			
Nº de Instalações		2		6	+200%		3	+50%
Total de km	671.787,27		286.483,98		-56%	407.828,33		-37%
Consumo de diesel (em litros)	325.857,25		143.011,15		-56%	203.585,55		-37%
Custos de Combustível	R\$	896.107,45	R\$	393.280,66	-56%	R\$	559.860,27	-37%
Custo mensal pneus e câmaras	R\$	121.152,06	R\$	44.882,96	-62%	R\$	63.893,77	-47%
Custo com óleo motor	R\$	22.259,52	R\$	8.246,44	-62%	R\$	11.739,33	-47%
Custo com óleo transmissão	R\$	4.096,37	R\$	1.517,57	-62%	R\$	2.160,36	-47%
Custo com óleo hidráulico	R\$	41.736,60	R\$	15.462,07	-62%	R\$	22.011,25	-47%
Custo com graxas em kg	R\$	9.661,25	R\$	3.579,18	-62%	R\$	5.095,20	-47%
Seguro	R\$	140.000,00	R\$	140.000,00	0%	R\$	140.000,00	0%
Multas	R\$	15.000,00	R\$	15.000,00	0%	R\$	15.000,00	0%
Manutenção	R\$	187.441,99	R\$	58.992,10	-68%	R\$	83.979,04	-55%
Custo de Frota	D¢	4 407 455 04	DΦ	000 000 00	F20/	DΦ	000 700 00	270/
Restrição	КФ	1.437.455,24 6.036	R\$	680.960,98 789	-52% -86%	R\$	903.739,22 789	-37% -86%
ivesii içau		0.030		109	-00%		109	-00%
Aluguel	R\$	264.000,00	R\$	363.955,00	+37%	R\$	366.049,41	+38%
Segurança	R\$	72.000,00	R\$	216.000,00	+200%	R\$	108.000,00	+50%
Custo das Instalações	R\$	336.000,00	R\$	579.955,00	+72%	R\$	474.049,41	+41%
Custo Total	R\$	1.773.455,24	R\$	1.260.915,98	-28,9%	R\$	1.377.788,63	-22,3%

A tabela acima é autoexplicativa, cabe apenas mencionar que o modelo de fato reduziu o custo total da operação, no cenário 2 que é mais conservador a redução é de quase 400 mil reais em um ano. Também é importante mencionar que a área total, ou seja, soma de todos os pátios abertos em cada cenário é a mesma nos 3 casos, um total de 10000 m². Essa área é o espaço de armazenagem necessário para os 72 veículos da Truck Comoany.

Nos dois cenários propostos, a redução do custo total da operação ocorreu porque a redução do custo operacional foi maior que o aumento nos custos das instalações a serem abertas. Ao optar por uma configuração de rede descentralizada, a empresa fica mais próxima dos clientes e reduz o custo de deslocamento até os clientes. A figura abaixo ilustra o que foi mencionado.

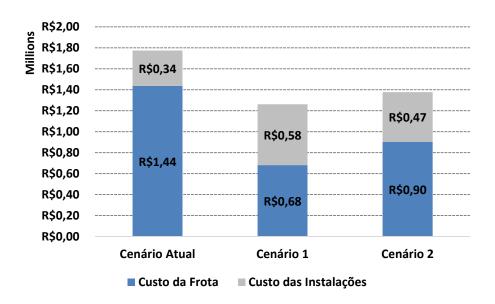


Figura 29 - Comparação dos custos por cenário. Fonte: Elaboração Própria

Também é interessante observar como a estrutura do custo total ficou mais equilibrada entre custo da frota e custo das instalações. No cenário atual, o custo da frota possuía uma parcela de 81% do custo total. Quanto mais descentralizado a rede logística, menor essa parcela fica e maior a parcela relativa ao custo das instalações. Abaixo, apresentamos como o perfil do custo total muda com os cenários propostos.

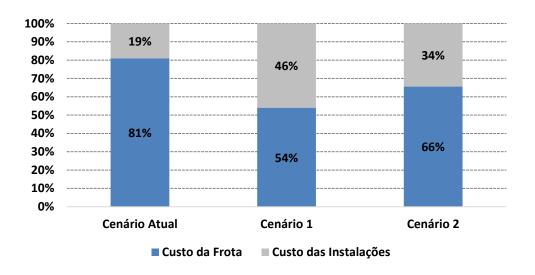


Figura 30 - Custo da frota x custo das instalações por cenário. Fonte: Elaboração Própria

Este efeito é compatível com o que foi apresentado na Figura 4. Em indústrias tradicionais, como as que deram origem à Figura 4, a descentralização implica em um aumento significante do estoque a ser mantido. Isto porque, indústrias tradicionais possuem, em geral, centenas de *SKUs* e para garantir que cada *SKU* esteja disponível ao consumidor, as empresas precisam de um estoque de segurança para cada SKU. Na empresa estudada, só existem 3 *SKU* que são os três diferentes tipos de veículos a serem alugados. A gestão de estoques é um tema bastante estudado na literatura e relacionado com o planejamento da rede logística entretanto, pela natureza da operação e pela não obtenção de dados suficientes, o custo de estoque não está sendo considerado no modelo e não é tema deste trabalho (ver item 4.3).

Além dos ganhos financeiros apresentados na tabela, também chama a atenção a redução drástica do número de viagens que passam por alguma via com restrição, passando de 6036 para 789. Como foi mencionado no item 3.3 esse número é muito importante porque impacta demais a operação da empresa. Essa redução possibilitaria uma maior eficiência para a operação estudada e possivelmente mais ganhos que não foram contabilizados pelo modelo, como por exemplo, a redução de despesas com horas extras dos motoristas e ajudantes que precisavam fazer jornadas longas quando

precisavam realizar um serviço que passe por alguma via com restrição. A figura abaixo ilustra a redução mencionada e os custos totais, em milhões, de cada cenário.

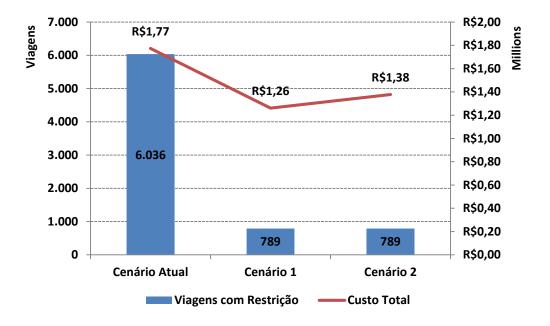


Figura 31 – Gráfico comparativo entre as viagens com restrição nos cenários desenvolvidos e a situação atual. No mesmo gráfico, em milhões, o custo total de cada. Fonte: Elaboração Própria

6. Conclusão

O problema de localizações em uma rede logística é um enorme desafio para os gestores de logística e, como se pode perceber, extremamente complexo por conta das inúmeros possibilidades de arranjos possíveis e, também, do uso intensivo de dados. A importância de responder a esse problema advém principalmente dos altos investimentos envolvidos e dos profundos impactos que essas decisões de localização têm sobre os custos logísticos.

O presente documento teve como objetivos, entre outros, responder qual o número de estacionamentos, onde estes devem ser localizados e quais localidades vão atender cada região de demanda de forma a minimizar o custo total e maximizar as margens de lucro da operação da Truck Company em 2015.

Utilizando um modelo chamado *Fixed Charge Facility Location Problems*, foram feitas adaptações ao mesmo para que este pudesse se adequar melhor a situação da empresa. E, a partir do modelo resultante e das análises pós-modelagem, como foi mostrado nos itens anteriores, foi possível alcançar esse objetivo proposto.

Um ponto importante a ser lembrado é que o modelo utilizado neste trabalho não levou em consideração o custo de oportunidade de manter estoques. A operação estudada não é uma indústria comum e sim uma prestadora de serviço. O estoque da empresa são seus veículos, para estudar o custo de oportunidade do estoque seria necessário um dimensionamento da frota para cada cenário proposto ou uma forma de incorporar o dimensionamento no modelo. Talvez, este seja um excelente desafio para o futuro.

Outro desafio seria estudar outras formas de aproximar, ainda mais, o modelo desenvolvido da realidade da empresa. Por exemplo, adicionar um fator referente ao custo da mudança, ou seja, o custo referente ao encerramento das atividades em um pátio existente para um novo estacionamento a ser aberto. Outro exemplo, seria estudar se um modelo que levasse em consideração o tipo de veículo (carreta, munck e guindaste) utilizado nas viagens proporcionaria um resultado diferente.

Um planejamento de redes logística deve levar em consideração o tempo que a rede definida será utilizada. Por ser uma decisão estratégica, geralmente a rede logística é definida para um período relativamente longo de tempo, por exemplo, para os próximos 10 anos. Para tanto, devem ser feitas projeções da demanda para o período definido. Neste projeto, a demanda utilizada foi a projeção para o ano de 2015. A rede definida, é a ótima para esta demanda.

Além disso, um objetivo secundário, que também é pertinente para a operação, foi a redução de viagens que passem por vias com restrição. A restrição das vias prejudica muito a eficiência operacional da empresa e para analisar este tópico foi desenvolvido um código utilizando a ferramenta *Google Direction API*. Através da análise dos resultados também foi demonstrado que esse objetivo foi cumprido.

Ambos os cenários resultantes do modelo utilizado resultaram em significantes reduções no custo total da operação atual e no número de viagens com restrição. A tabela abaixo é um resumo dos resultados.

Tabela 23 – Resumo dos resultados encontrados. Fonte: Elaboração Própria

	Cenário Atual	Cenário 1		Cenário 2	
Nº de Instalações	2	6	+200%	3	+50%
Total de km	671.787,27	286.483,98	-56%	407.828,33	-37%
Viagens com Restrição	6.036	789	-86%	789	-86%
Custo Total (2015)	R\$ 1.773.455,24	R\$ 1.260.915,98	-28,9%	R\$ 1.377.788,63	-22,3%

O Cenário 1 foi resultado do modelo rodando livremente, ou seja, o modelo avaliou todas as possibilidades de redes possíveis, dentre as 25 potenciais localidades utilizadas como *input*, e chegou a configuração de 6 pátios espalhados pelo estado do Rio de Janeiro que minimiza o custo total da operação. Frente ao número de possibilidades existentes, esta análise seria inviável sem um modelo matemático. Este cenário possibilitaria uma economia de **R\$ 512.539,26** no ano de 2015.

O Cenário 2 foi resultado da execução do modelo com uma restrição adicional. Neste caso, restringiu-se o máximo de instalações a serem abertas para um total de 3. Esta restrição foi necessária porque algumas instalações abertas no Cenário 1 estavam sendo abertas para atenderem um percentual da demanda muito baixo e os custos de aluguel, mesmo sendo obtidos através de um site confiável de locação de imóveis, não estavam correspondentes à realidade.

Outro ponto importante ao analisar os resultados dos modelos é a gestão da operação. A complexidade em gerir o negócio aumenta conforme aumenta o número de estacionamentos. Desta forma, seria complicado administrar os 6 pátios propostos no Cenário 1 sem perder qualidade no serviço prestado e sem gastos adicionais com gestão. Já no Cenário 2, seria apenas 1 instalação adicional em relação a operação atual, sendo, então, este resultado mais atraente, e portanto mais adequado para a operação da Truck Company. Este cenário possibilitaria uma economia de **R\$** 395.666,61 no ano de 2015.

Em nota final, ficou claro o trade-off entre custos de transporte e custos fixos. A situação atual, com apenas 2 instalações, tem baixo custo fixo, e um alto custo de transporte, visto que as instalações estão distantes dos nós de demanda. Já nos cenários propostos pelo modelo, o número de instalações abertas aumenta, aumentando, desta forma, o custo fixo de instalação, no entanto fazendo com que a distância percorrida pelos veículos seja menor, diminuindo o custo de transporte.

Deste modo para resolver o problema de localização e configurar uma rede logística é preciso ponderar entre a abertura de novas localidades, e seus custos inerentes, com o benefício de estar mais próximo da demanda, e desse modo diminuindo os custos operacionais. Esse trade-off, que está bem claro na Figura 4, é comprovado pelos resultados desse trabalho nas figuras Figura 29 e Figura 30.

7. Referências Bibliográficas

Agência Nacional de Petróleo, 2015. Sistema de Levantamento de Preços. [Online]

Available at: http://www.anp.gov.br/preco/

[Acesso em 15 Fevereiro 2015].

AMBROSINO, D. & SCUTELLÀ, M. G., 2005. Distribution network design: New problems and related models. *European Journal of Operational Research*, Setembro, 165(3), p. 610–624.

BALLOU, R. H., 1984. DISPLAN: A Multiproduct Plant/Warehouse Location Model With Nonlinear Inventory Costs. *Journal of Operations Management,* November, 5(1), pp. 75-80.

BALLOU, R. H., 2001. Unresolved Issues in Supply Chain Network Design. *Information Systems Frontiers*, 3(4), pp. 417-426.

BALLOU, R. H., 2004. Business Logistics / Supply Chain Management : Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain. 5 ed. New York: Pearson Education.

BALLOU, R. H. & BURNETAS, A., 2003. Planning Multiple Location Inventories. *Journal of Business Logistics*, 24(2), pp. 65-89.

FLEURY, P. F., WANKE, P. & FIGUEIREDO, K. F., 2003. Logística e o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento do Fluxo de Produtos e de Recursos. 1 ed. São Paulo: Atlas.

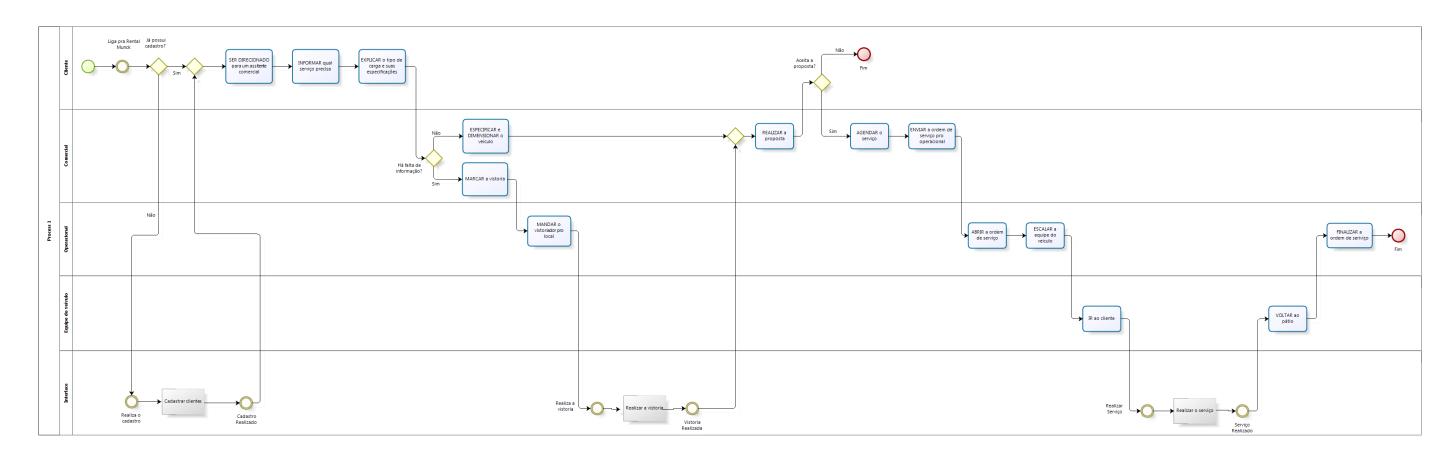
HAYES, R. H., PISANO, G. P., UPTON, D. M. & WHEELWRIGHT, S. C., 2004. Operations, Strategy, and Technology: Pursuing the Competitive Edge. 1st ed. New York: John Wiley & Sons.

- JORGE, C. M. D. M., 2008. Planejamento de Redes Logísticas Via Simulação: Analisando Fatores Determinantes das Decisões de Localização e Centralização da Distribuição, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- LACERDA, L., 1998. Considerações Sobre o Estudo de Localização de Instalações, Rio de Janeiro: ILOS.
- MAISTER, D. H., 1976. Centralisation of inventories and the 'square root law'. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 6(3), pp. 124-134.
- MELO, M. T., NICKEL, S. & SALDANHA-DA-GAMA, F., 2009. Facility location and supply chain management A review. *European Journal of Operational Research*, Julho, 196(2), pp. 401-412.
- MUTHER, R., 1973. *Planejamento do Layout: Sistema SLP.* Boston: Cahners Books.
- NOZICK, L. K. & TURNQUIST, M. A., 1998. Integrating inventory impacts into a fixed-charge model for locating distribution centers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Setembro, 34(3), pp. 173-186.
- OWEN, S. H. & DASKIN, M. S., 1998. Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, Dezembro, 111(3), pp. 423-447.
- Prefeitura do Rio de Janeiro, 2012. *Notícias*. [Online] Available at: http://www.rio.rj.gov.br/web/guest/exibeconteudo?article-id=3327515 [Acesso em 29 Maio 2013].
- WANKE, P. F., JUNIOR, E. J. M. & TARDELLI, R. V., 2009. *Introdução ao Planejamento de Redes Logísticas Aplicações em AIMMS.* São Paulo: Atlas.
- WANKE, P. F. & SALIBY, E., 2009. Consolidation effects: whether and how inventories should be pooled. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(5), pp. 678-692.

WWN - Locação de Guindastes, 2013. *Perguntas Frequentes*. [Online] Available at: http://www.wwntransportes.com.br/materias.php?cd_secao=8 [Acesso em 25 Janeiro 2013].

8. Anexos

8.1. Processo de aquisição de um serviço da Truck Company





8.2. Modelagem em AIMMS

```
ModelMain_Rental {
   Set S Localizacoes {
       Index: j;
   Set S Clientes {
      Index: i;
   Set S ClientesVolta {
       Index: k;
ParameterP Demanda {
IndexDomain: i;
  }
ParameterP DemandaVolta {
IndexDomain: k;
ParameterP CapacidadeLocalizacao {
IndexDomain: j;
ParameterP CustoFixo {
IndexDomain: j;
ParameterP DistânciaIda {
IndexDomain: (i,j);
ParameterP DistânciaVolta {
IndexDomain: (k,j);
VariableV LocalizacaoAberta {
IndexDomain: j;
      Range: binary;
VariableV_FracaoDaDemanda {
IndexDomain: (j);
      Range: [0, 1];
P DemandaVolta(k) * V DemandaVoltaAtendidaLocalizacao(k, j)))/19014;
   Variable V_CustoTotal {
      Range: free;
Definition: {
            1.63085 * P DistânciaVolta(k, j)/1000 * P_DemandaVolta(k)
sum((k,j),
V DemandaVoltaAtendidaLocalizacao(k, j)) +
sum((i,j), 1.63085 * P_DistânciaIda(i,
V_DemandaAtendidaLocalizacao(i, j)) +
                                                 j)/1000 * P Demanda(i)
sum(j, P_CustoFixo(j) * V_LocalizacaoAberta(j) * V_FracaoDaDemanda(j)) + sum(j, 36000 *
V LocalizacaoAberta(j))
   Variable V_DemandaAtendidaLocalizacao {
IndexDomain: (\bar{i}, j);
      Range: binary;
   Variable V DemandaVoltaAtendidaLocalizacao {
IndexDomain: (\overline{k}, j);
      Range: binary;
MathematicalProgramCustoMinimo {
Objective: V CustoTotal;
Direction: minimize;
       Constraints: AllConstraints;
       Variables: AllVariables;
```

```
Type: Automatic;
    {\tt Constraint C\_DemandaAtendida \ \{}
IndexDomain: i;
Definition: sum(j, V_DemandaAtendidaLocalizacao(i, j)) = 1;
    Constraint C_DemandaVoltaAtendida {
IndexDomain: (k);
Definition: sum(j, V DemandaVoltaAtendidaLocalizacao(k, j)) = 1;
ConstraintC DemandaLocalizacaoAberta {
IndexDomain: (i,j);
Definition: (V_DemandaAtendidaLocalizacao(i, j) - V_LocalizacaoAberta(j)) <= 0;
ConstraintC DemandaVoltaLocalizacaoAberta {
IndexDomain: (k,j);
Definition: (V_DemandaVoltaAtendidaLocalizacao(k, j) - V_LocalizacaoAberta(j)) <= 0;</pre>
ConstraintC_NumeroMinimoDeInstalacoes {
Definition: sum(j, V_LocalizacaoAberta(j)) >= 0;
    Procedure MainInitialization;
    Procedure MainExecution {
        Body: {
             Solve CustoMinimo;
    Procedure MainTermination {
        Body: {
returnDataManagementExit();
       }
```

8.3. Utilização do Google Directions API

Tendo já as coordenadas de GPS tanto dos locais de onde partiam as viagens (os pátios) e também os seus destinos. Estes foram salvos em arquivos CSV (comma separated values) para serem lidos pelo programa. Basicamente o programa captura os valores de distância, tempo e se possui restrição. A restrição é aferida utilizando a array que contém os nomes das vias com restrição e verificando as vias por onde o veículo ira percorrer, utilizando-se da "navegação curva a curva" fornecida pelo Google.

```
<?php
$restricoes = array(
       "Av. Francisco Bicalho",
       "R. Francisco Eugênio",
       "Av. Bartolomeu de Gusmão",
       "R. Visc. de Niterói",
       "R. Sen. Bernardo Monteiro",
       "Largo de Benfica",
       "Av. Dom Hélder Câmara",
       "Vd. de Cascadura",
       "Praça José de Sousa Marques",
       "R. Ângelo Dantas",
       "R. João Vicente",
       "Estr. Henrique de Melo",
       "Estr. Int. Magalhães",
       "Largo do Campinho",
       "R. Cândido Benício"
       "Av. Geremário Dantas",
       "Praça Profa. Camisão",
       "Estr. de Jacarepaguá",
       "Av. Eng. Sousa Filho",
       "Estr. do Itanhangá"
       "Estr. da Barra da Tijuca",
       "Pte. Nova",
       "Praça Euvaldo Lodi"
       "Av. Min. Ivan Lins",
       "Pte. da Joatinga",
       "Tún. do Joá",
       "Vevd. das Bandeiras",
       "Av. Pref. Mendes de Morais",
       "Av. Niemeyer",
       "Av. Delfim Moreira",
       "Av. Vieira Souto",
       "R. Francisco Otaviano",
       "Av. Atlântica",
       "Av. Prca. Isabel"
       "Tún. Eng. Marques Porto",
       "Av. Venceslau Brás",
       "Av. Pasteur",
       "Av. das Nações Unidas",
       "Av. Inf-d. Henrique",
       "Av. Rodrigues Alves",
       "Av. Gov. Carlos Lacerda"
       "Av. Bento Ribeiro Dantas",
       "Vd. de Manguinhos",
       "Ln.Amarela",
       "Av. Pres. João Goulart",
       "Ln. Vermelha",
```

```
$from = array();
$handle = @fopen("from.csv", "r");
if ($handle)
{
       while (!feof($handle))
               $buffer = fgets($handle, 4096);
                $buffer = utf8 encode($buffer);
               $explode = explode(";",$buffer);
               $from[] = trim($explode[0].",".$explode[1]); //Montando a Coordenada GPS
}
to = array();
$handle = @fopen("to.csv", "r");
if ($handle)
       while (!feof($handle))
               $buffer = fgets($handle, 4096);
$buffer = utf8_encode($buffer);
               $explode = explode(";",$buffer);
               $to[] = trim($explode[0].",".$explode[1]); //Coordenada GPS
        }
$distancias = array();
$duracao = array();
$restrito = array();
for($i = 0; $i < count($to); $i++)</pre>
       for($j = 0; $j < count($from); $j++)</pre>
               if(from[\$j] == \$to[\$i])
               {
                       $distancias[$i][$j] = "0";
$duracao[$i][$j] = "0";
                       restrito[\$i][\$j] = "0";
                       continue;
               }
               $file
file get contents("http://maps.googleapis.com/maps/api/directions/json?origin=".$from[$j
]."&destination=".$to[$i]."&sensor=false");
               $json = json_decode($file, true);
               if($json["status"] == "OK")
                       $distance
(!empty($json["routes"][0]["legs"][0]["distance"]["value"]))
                                                                                              ?
$json["routes"][0]["legs"][0]["distance"]["value"] : "";
                       $duration
(!empty($json["routes"][0]["legs"][0]["duration"]["value"]))
$json["routes"][0]["legs"][0]["duration"]["value"] : "";
                       $restrict area = "0";
                       $polyline = $json["routes"][0]["overview polyline"]["points"];
                       foreach($json["routes"][0]["legs"][0]["steps"] as $step)
```