

APLICAÇÃO DO PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS CLÁSSICO (PRVC) NA EMPRESA SIGMA

Ryan Gadelha Sousa

Graduando do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário 7 de Setembro (UNI7).
ryangadelha@gmail.com

Natália Varela da Rocha Kloeckner

Professora adjunta do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário 7 de Setembro (UNI7). Mestre em Logística e Pesquisa Operacional pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Graduada em Economia pela UFC. Professora de cursos de graduação e pós-graduação da UNI7 e Faculdade Ari de Sá.
natalia.kloeckner@fa7.edu.br

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo evidenciar reduções significativas no custo de transporte com a aplicação da roteirização em uma empresa transportadora de combustíveis, denominada empresa Sigma. Tal ferramenta visa à otimização das rotas através da diminuição das distâncias e consequentemente diminuição dos custos transporte. O artigo foi realizado através de um estudo de caso, configurando o método como exploratório descritivo além da utilização de pesquisa bibliográfica, em livros e artigos bem como pesquisa documental, através de relatórios da empresa objeto de estudo. Ainda sobre o método, foi utilizada uma pesquisa de campo no setor de planejamento logístico, com análises quantitativas, de forma a aplicar a resolução do problema de roteamento de veículos clássico na operação de entrega em postos de combustíveis em Fortaleza e região metropolitana. Por fim foi analisado o cenário atual com o cenário gerado com o modelo do PRVC quantificando as reduções no custo de transporte.

PALAVRAS-CHAVE: Combustíveis. Otimização. Problema de roteirização. Roteamento. Roteirização.

ABSTRACT

The present study aims to demonstrate significant reductions without transportation costs with a routing application in a fuel transportation company, denominated Sigma. Field is aimed at optimizing routes by reducing distances and consequently reducing transport costs. The article was carried out through a case study, configuring the method as descriptive exploratory beyond the application of bibliographic research, in books and articles as well as documentary research, through the proposed article. Also on the method, a field survey without logistics planning sector was used, with quantitative analyzes, in order to apply the resolution of the problem of classic truck routing in the delivery operation at fuel stations in Fortaleza and metropolitan region. Finally, we analyzed the current scenario with the scenario predicted with the PRVC version quantifying how reductions in transportation costs.

KEYWORDS: Fuels. Optimization. Roleplaying problem. Routing. Scripting.

1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário atual da economia brasileira, grandes empresas fecharam suas portas e outras foram gravemente afetadas nos mais diversos segmentos. As empresas passaram a buscar novas soluções, usando a logística para obter competitividade e assim ganhar novos negócios (NOVAES, 2007). O que muitas não visualizam é que é necessária a integralização dos diversos setores que a compõem bem como a utilização de metodologias existentes no mercado.

No âmbito empresarial a logística se desenvolve com a necessidade de não ser mais classificada como um departamento de ações corretivas, mas sim de caminhar para uma estratégia empresarial integrada, tendo como principal objetivo apoiar as necessidades operacionais de compras, produção e atendimento as expectativas do cliente (CAXITO, 2011).

Logística é o processo de planejamento, implantação e controle de fluxo eficiente e eficaz de mercadorias até seus clientes, além dos produtos também temos fluxos de serviço (BALLOU, 2006). Nesse contexto, “os transportes têm a função básica de proporcionar elevação na disponibilidade de bens” (MARTINS; CAIXETA-FILHO, 2014, p. 16). Na parte da informação a logística possui uma grande importância para disseminá-la, podendo de acordo com sua formulação, ajudar ou prejudicar os esforços mercadológicos (NOVAES, 2007).

Com uma fração relevante nos custos das indústrias e exportadores, as despesas de transporte, manutenção de frota e armazenagem (KEEDI, 2015) apresentam hoje um desafio imenso no segmento. A roteirização apresenta-se como uma possível ferramenta de otimização para as operações dos veículos. Com ela é possível planejar as rotas de entregas, aumentar o índice de atendimento por faixa horária dos clientes, reduzir o consumo de combustíveis, reduzir os gastos com pneus e manutenção além de melhorar a qualidade das informações junto ao cliente (MATOS JUNIOR et al., 2014).

Analisando um trabalho semelhante foi visto uma redução média de 1,57% no índice de devoluções, conseqüentemente redução nos custos de transporte impactando diretamente no nível do serviço aos clientes. A taxa de ocupação dos veículos aumentou 7%, gerando redução no frete bem como permitindo uma melhor utilização dos recursos, entregando mais com menos e dependendo da relação da

sua oferta e demanda é possível também uma redução da frota. Uma última melhoria foi um aumento de 7,32% no índice de entregas realizadas com sucesso (MATOS et al., 2014).

Roteirização é a forma de representar o processo para a determinação de roteiros em um conjunto de entregas por veículo. Com uso de qualquer ferramenta de mapa na *internet* é possível criar esses roteiros para entregas sem considerar restrições, isto é, faixa horária de recebimento no cliente, jornada de trabalho do motorista, restrições de trânsito dentre outras. Elaborar boas soluções para o problema de roteirização torna-se cada vez mais complicado na medida em que novas restrições são inseridas (BALLOU, 2006), nessa situação é indicado o uso de *softwares* com modelos matemáticos específicos para a operação.

A informação sempre foi um elemento importantíssimo nas operações logísticas. Porém, com os benefícios dos avanços tecnológicos da atualidade, é proporcionada uma força motriz para a estratégia competitiva da logística (CAXITO, 2011). A tecnologia da informação alinhada ao estudo de roteirização proporciona de forma simplificada uma maximização de resultados e minimização de custos.

No estudo de Amaral et al. (2014), foi aplicada uma técnica de roteirização para cargas fracionadas. A equipe utilizou um *software* de otimização, sendo visível a redução nos percursos de transporte por meio da reprogramação da malha, observando os critérios da técnica de roteirização. Em números, tiveram 18,3% na redução do percurso e 69,8% na quantidade de veículos.

Na aplicação da roteirização em uma rede atacadista. Os cenários gerados puderam levar as decisões das mais distintas, com relação, por exemplo, ao tipo de veículo a ser utilizado. Foi possível, também, identificar entre os cenários gerados alguns com melhor desempenho global, onde em um deles foram testadas condições com menos restrições, gerando aumento da utilização média da frota e diminuindo o tempo total de viagem e distância percorrida (FARKUH; LIMA, 2006).

O **problema do presente estudo** é responder como a roteirização de veículos na operação de transportes de combustíveis em Fortaleza e região metropolitana pode influenciar na redução do custo de transporte?

O **objetivo geral** é analisar a roteirização de veículos na operação de transportes de combustíveis em Fortaleza e região metropolitana na empresa Sigma. Os **objetivos específicos teóricos** deste estudo são: descrever o sistema

de transporte de combustíveis no Brasil e descrever os tipos de roteirização de veículos.

Já os **objetivos específicos empíricos** deste estudo são: descrever a operação de transportes de combustíveis em Fortaleza e região metropolitana na empresa Sigma, descrever o modelo de roteirização atual, adaptar um modelo matemático de roteirização de veículos de forma a atender as necessidades do problema solucionando-o, aplicar a roteirização de veículos, identificar se a roteirização de veículos influencia na redução do custo de transporte e comparar o modelo gerado com o anterior.

O trabalho é composto por mais quatro seções, descritas a seguir. Na segunda seção é apresentado a teoria a respeito da logística de combustíveis no transporte rodoviário. A terceira seção apresenta o assunto roteirização, explanando os problemas clássicos de roteirização e aplicações práticas. Na quarta seção é apresentado o estudo de caso, contendo informações sobre a operação de entrega de combustíveis bem como a aplicação do modelo adaptado do problema de roteamento de veículos clássico. Na quinta e última seção é apresentado os resultados obtidos da aplicação do modelo na empresa Sigma.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMA DE TRANSPORTE

Nesta subseção, foi apresentado o transporte rodoviário, com um breve histórico no Brasil. Em seguida foi apresentado o transporte de combustíveis bem como sua logística.

2.1.1 Sistema de Transportes no Brasil

O sistema de transporte pode ser definido como um conjunto de atividades que trabalham de forma integrada, necessárias para o deslocamento de pessoas e cargas em um determinado trecho. Essas atividades envolvem recursos, podendo ser eles materiais, humanos, financeiros e intelectuais (AGOSTO, 2015).

Com a integração dos espaços geográficos ao longo da história, a preocupação governamental era criar soluções que permitissem produzir e escoar entre seus estados e para outros países. Pondo em prática um programa de privatizações, adotando um modelo de concessões nas rodovias e privatizando o ferroviário. Além de realizar um arrendamento das suas linhas, equipamentos e instalações, o governo procurou avançar na operação e administração do sistema (GORDINHO, 2003).

Apesar do imenso crescimento das oportunidades pela duplicação do fluxo de comércio do país nos anos mais recentes, os diversos modais de transporte apresentaram uma queda expressiva, perdendo grandes oportunidades e ocasionando redução no valor adicionado nacional (BARAT, 2007). Tal valor gera impacto direto no PIB do país.

Atualmente as ferrovias não formam uma boa rede de cobertura no país. No transporte marítimo as opções também não são amplas. Na distribuição interna, o transporte rodoviário abrange uma fatia exorbitante no transporte de produtos manufaturados (NOVAES, 2007), ainda que sua estrutura seja precária. O transporte rodoviário alterou, de forma deliberativa, a economia geográfica do país, integrando novas fronteiras de produção e consumo (BARAT, 2007).

2.1.1.1 Transporte rodoviário no Brasil

É o principal modal utilizado no transporte interno, tendo no país, cerca de 60% de utilização quando comparado aos demais modais (KEEDI, 2015). Além disso, possui vantagem de alcançar praticamente todo o território nacional, com exceção de locais muito remotos, que por sua natureza, não possuem expressão econômica (NOVAES, 2007).

Os veículos utilizados nesse modal são o caminhão, carreta, bitrem e rodotrem, podendo ser dos mais diversos tipos, desde fechados até abertos, de acordo com a atividade destinada (KEEDI, 2015).

A logística de transporte é um dos fatores cada vez mais relevantes na adição de valor do PIB nacional (BARAT, 2007). Apesar da importância na economia, o Brasil está distante da concepção de que o transporte é um elo importante da cadeia logística.

O transporte brasileiro possui grandes restrições que impedem seu desenvolvimento. O esgotamento dos mecanismos tradicionais de financiamentos públicos e a redução do investimento privado nacional e internacional, a queda nos níveis de profissionalização e a dispersão dos núcleos de inteligência das organizações públicas são as principais restrições (BARAT, 2007).

2.1.1.2 Distribuição física e flexibilidade

O conhecimento dos vários modos de transporte, bem como os veículos e as cargas adequadas a cada um deles, é primordial para a criação e desenvolvimento de uma logística adequada (KEEDI, 2015). Um bom planejamento da frota conduzirá a uma distribuição física de forma eficiente.

O objetivo principal da distribuição física é o de levar os produtos certos para os lugares certos, no instante certo e com o nível de serviço esperado por seu cliente, pelo menor custo possível (NOVAES, 2007). Diante disso, o transporte atua desde a saída da fábrica com o produto até o consumidor final, existindo variações de acordo com a operação realizada.

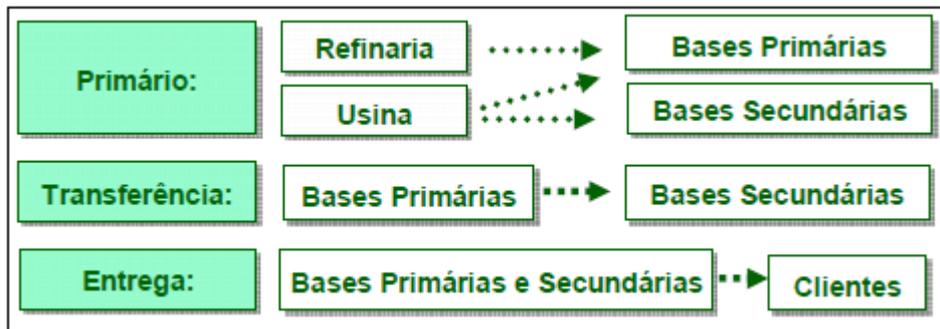
Na Europa e nos Estados Unidos, a distribuição de mercadorias das fábricas para os centros de comércio pode ser realizada de modalidades de transportes diversas: rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo. Existem grandes opções de modalidade, envolvendo também uma combinação entre elas (NOVAES, 2007). No Brasil, “a regulamentação para o operador do transporte multimodal foi aprovada em 2001, porém, sua regulamentação não encontrou viabilidade” (GORDINHO, 2003, p.27). Neste caso, prevalecem exemplos isolados e incompletos que não suportam a economia de escala, isto é, a máxima utilização dos fatores produtivos, minimizando os custos de produção e gerando aumento dos bens e serviços.

2.1.2 Logística no Transporte Rodoviário de Combustíveis

O transporte de combustíveis apresenta principalmente três fluxos de distribuição. Os fluxos primários se originam em usinas ou centros coletores, com destino as bases primárias ou secundárias. As transferências são o segundo fluxo principal, pois ocorrem entre suas bases a fim de aproximar os estoques dos

mercados consumidores. Estes por sua vez percorrem grandes distâncias. Por fim, as entregas na sua grande maioria são trechos de curta distância com origem tanto em bases primárias quanto em secundárias (FIGUEREIDO, 2006). A figura abaixo ilustra de forma simplificada os fluxos de distribuição de combustíveis:

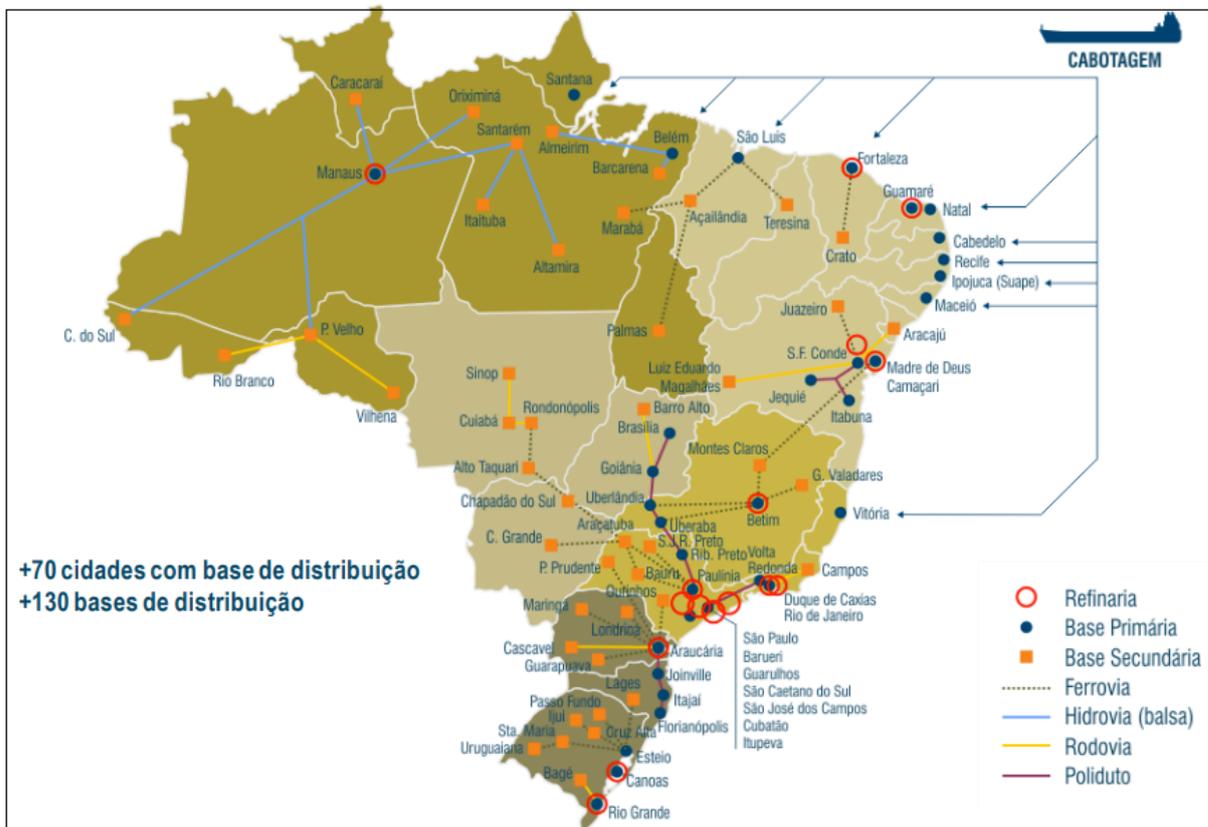
Figura 1 – Fluxos de distribuição de combustíveis



Fonte: Figueiredo, 2006.

A figura 2 representa as bases primárias e secundárias em todo o território nacional:

Figura 2 – Bases de distribuição de combustíveis



Fonte: SINDICOM, 2016

Uma empresa nesse segmento pode operar em diversas bases de distribuição, dentre as quais podem suprir centenas de clientes. Estes clientes estão geograficamente dispersos e possuem características específicas. O desafio aos gestores de logística, portanto, é administrar as várias etapas desta cadeia de suprimentos, otimizando o atendimento aos seus clientes e administrando simultaneamente o suprimento da distribuidora, armazenagem e a distribuição entre as bases (MALIGO, 2005).

2.1.2.1 Distribuição de combustíveis na entrega

Com trechos geralmente curtos, esse fluxo tem como finalidade realizar entregas em postos de gasolina, atacadistas ou consumidores. As entregas podem ser programadas e solicitadas pelo próprio cliente, encaixando-se na modalidade FOB (*Free on Board*), ou programadas pelas distribuidoras e atendidas por transportadoras por elas contratadas, o que caracteriza a modalidade CIF (*Cost-Insurance-Freight*) (LEMES et al., 2010). De uma forma simplificada, o CIF significa que o preço do produto inclui os valores com seguro e frete até o local do destino, enquanto que o FOB significa que o produto não inclui esses valores até o cliente, deixando o comprador responsável pelos riscos e custos referentes a retirada do produto (SOUZA; BORINELLI, 2012).

Os caminhões tanques, ou CT como são chamados, são carregados nas bases e constituem a ligação física entre as distribuidoras e os clientes. Geralmente neste tipo de distribuição são utilizadas carretas (tanque reboque, na definição do INMETRO) com 30.000 litros de capacidade ou mais, sendo seu tanque compartimentado. Esses compartimentos possuem 5.000 litros cada (MALIGO, 2005).

2.1.2.1.1 Postos de combustíveis

Os postos compram os combustíveis das distribuidoras e revendem aos motoristas. De acordo com o mercado ou público alvo, os postos podem trabalhar com um conjunto de produtos, podendo ser: gasolina comum e aditivada, álcool, óleo diesel comum e aditivado, dentre outros (MALIGO, 2005).

No que diz respeito a caracterização dos postos, sua localização é um fator determinante. Situados em zona urbana, tais postos são denominados de postos urbanos. Os que estão localizados fora do perímetro urbanos, geralmente em estradas, são chamados de postos de estradas. Essa divisão acontece, pois, existem divergências de suas características, de tal modo que algumas distribuidoras os consideram segmentos de mercado diferentes. No que diz respeito a estas características, pode-se citar (MALIGO, 2005):

- a) proporção de vendas com produtos diversos. Os postos de estrada possuem uma demanda maior por óleo diesel, enquanto que os postos urbanos vendem mais gasolina e álcool;
- b) a pequena demanda de diesel nos postos urbanos;
- c) a presença de restaurantes e serviços voltados a caminhoneiros em postos de estradas.

2.2 TIPOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Nessa subseção foi descrito o conceito de roteirização, abordando de forma peculiar os seus problemas clássicos, a ela inerentes.

2.2.1 Roteirização de Veículos

As decisões, os objetivos e as restrições definem um problema real de roteirização. As decisões referem-se ao grupo de clientes que devem ser visitados bem como os veículos e respectivos motoristas, incorporando também a programação e sequenciamento das entregas. Já os objetivos propiciam um alto nível de serviço aos clientes. Por outro lado, a roteirização deve obedecer a determinadas restrições. A princípio, as entregas devem ser realizadas conforme programado com os clientes, de acordo com as rotas disponíveis. Além disso, devem-se respeitar os limites de jornada de trabalho da mão de obra, satisfazendo as restrições de trânsito, bem como, limites de velocidade, tráfego de veículo pesados, dentre outros (NOVAES, 2007).

Na prática, os problemas de roteirização estão presentes na distribuição de diversos produtos e serviços, como na distribuição de bebidas, coleta de lixo urbano, distribuição de combustíveis e entrega de correspondências (NOVAES, 2007).

A seguir são listados os principais problemas de roteirização.

2.2.1.1 Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

Diante de um cenário onde a restrição de tempo e de capacidade está resolvida, não sendo preciso se preocupar com tais restrições, de forma que no sistema não existisse a restrição de tempo e capacidade. Nesses casos, o problema que resta para resolução é o de encontrar a sequência de entregas que torne mínimo o percurso dentro de uma zona (NOVAES, 2007).

O problema descrito anteriormente faz referência ao problema do caixeiro viajante (PCV). Esse problema consiste em um vendedor que precisa encontrar uma rota que comece a partir de um ponto inicial, visitar um conjunto de determinadas cidades e retornar a origem, ou seja, ao local de início da rota. Tal rota deve ser gerada de modo que a distância total percorrida seja a mínima e, que cada cidade seja visitada uma única vez. Apesar de parecer um problema simples, o PCV de uma maneira geral representa um problema de otimização combinatória difícil (PUNNEN; GUTIN, 2007).

2.2.1.2 Problema do Carteiro Chinês (PCC)

O problema do carteiro chinês é uma variação do problema do caixeiro viajante, porém, nesse problema, os clientes estão localizados em arcos ao invés de nós (BELFIORE, 2006). Tal modelo consiste em um carteiro que parte da estação de correios para realizar uma entrega e por fim retorna à esta estação. O carteiro tem como objetivo escolher a rota de tal forma que percorra o menor caminho, cobrindo cada rua, em sua área, pelo menos uma vez (XU, 2003).

No âmbito de transportes, o problema consiste em determinar um roteiro único, que minimize o custo e que permita ao veículo visitar todos os arcos (clientes) de uma zona, uma única vez. O problema é baseado em somente um depósito e o

veículo deve sair de uma mesma base bem como retornar para ela (BELFIORE, 2006).

A definição matemática de forma sumária, tem-se um grafo $G = (N, M)$, com vértices e arestas, respectivamente. Constando por um vértice inicial $s \in N$, o problema consiste em encontrar uma série de k viagens fechadas, contendo um vértice inicial s de modo que cada aresta do grafo seja percorrida ao menos uma vez em alguma viagem e que o cumprimento das k viagens seja minimizado (GOLDBARG, E.; GOLDBARG, M., 2012).

2.2.1.3 Problema do Caminho Mínimo

Também chamado de problema do caminho mais curto, o caminho mínimo busca encontrar o menor percurso entre dois nós de uma rede, não somente a minimização do percurso, mas também o custo e tempo total da viagem (BELFIORE; FAVORE, 2012). Este tipo de problema pode ser modelado como um problema de otimização em redes. Através da construção de um grafo cujos nós, representam as esquinas das ruas da cidade, sendo incluído mais dois nós correspondentes ao depósito e ao endereço do cliente. Os arcos do grafo correspondem as ruas que ligam as esquinas, enquanto que o depósito e o endereço do cliente correspondem às esquinas de suas ruas. Qualquer caminho no grafo que parte do nó depósito ao nó endereço do cliente, representa um caminho real pela cidade, que liga o depósito ao endereço do cliente. Se for definido um valor para cada arco igual ao comprimento da rota correspondente de cada rua, o valor do caminho gerado será a soma dos valores dos seus arcos. Então, para encontrar o menor caminho do grafo, isso equivalerá a gerar o menor valor do nó depósito ao nó endereço do cliente (rota) (MORABITO et al., 2015).

2.2.1.4 Problema de Roteamento de Veículos

O problema de roteamento de veículos (PRV) é uma denominação genérica, dado a uma classe de modelos matemáticos onde “clientes” são visitados por

“veículos” (FERREIRA FILHO, 2016). Tal instância envolve o planejamento de rotas de coleta e/ou entrega de forma que o custo seja minimizado. Tem origem em um ou mais depósitos para um número determinado de clientes, sujeitos a restrições adicionais. Este problema é fundamental na área de gerenciamento da distribuição e logística (MORABITO et al., 2015).

Há abundâncias de particularidades para o problema que existem na realidade, os quais sugerem uma classificação em três grupos: (FERREIRA FILHO, 2016):

- a) PRV – Problema de Roteamento de Veículos;
- b) PSV – Problema de Sequenciamento de Veículos;
- c) PRSV – Problema de Sequenciamento e Roteamento de Veículos.

O PRV consiste em determinar rotas que minimizem a função objetivo que é geralmente a distância percorrida pela frota. Nesse tipo de problema, o horário e a sequência de entregas são livres e consistem na distribuição de bens por uma frota de caminhões tendo como origem um depósito (FERREIRA FILHO, 2016).

Um sequenciamento, ou programação de veículos, é uma rota onde cada ponto é associado a um tempo de chegada e partida, ou tempo de execução de um serviço. Dessa forma, no PSV os veículos possuem restrições de horários especificadas em cada ponto dentro de uma determinada rota (FERREIRA FILHO, 2016).

Quando os elementos de espaço e tempo se combinam de maneira que um não prevaleça sobre o outro, temos o PRSV. Esse tipo de problema normalmente é caracterizado por restrições de número de rotas inferior a frota de veículos, relação de precedência entre clientes e janelas de tempo, isto é, os clientes possuem horários estabelecidos para entrega (FERREIRA FILHO, 2016).

Objetivo do problema é minimizar o custo total das viagens, com as seguintes restrições (MORABITO et al., 2015):

- a) início e término no depósito;
- b) cada cliente presente em apenas uma rota;
- c) demanda total de uma rota não pode ultrapassar a capacidade do veículo;
- d) o tempo total da viagem de uma rota não deve exceder a sua janela de tempo.

2.3.1 Software de Roteirização e Método de Solução

Uma das tendências tecnológicas é integrar o planejamento e a execução de atividades de transporte dos clientes com as do operador, de modo a minimizar os custos, reduzir a ociosidade e aumentar o nível de serviço (NOVAES, 2007).

A *internet*, como uma ferramenta de conhecimento, vem sendo muito utilizada na roteirização de veículos. Por meio de sites e plataformas que fornecem mapas e GPS é possível conhecer a localização exata do veículo, facilitando-a em caso de emergência e também favorecendo a programação de entregas através da alocação de transporte para coleta *real-time* de pacotes e documentos (GOMES; RIBEIRO, 2014).

Com a utilização do LINDO®, um *software* de modelagem e resolução de problemas de otimização, bastante utilizado no meio acadêmico (LINDO, 2017), pretende-se obter uma solução ótima a respeito do problema da pesquisa deste trabalho.

3 MÉTODO

O método “concretiza-se em ‘etapas ou fases’ e usa ‘técnicas’, ou seja, instrumentos facilitadores, auxiliares ao processo do conhecimento.” (BIAGI, 2012, p. 74). Nesse contexto, serão descritos a seguir os procedimentos metodológicos que caracterizam e organizam este estudo.

A “pesquisa, no sentido mais amplo, é um conjunto de atividades orientadas para a busca de um determinado conhecimento.” (RUDIO, 2014, p. 9). Mediante a isso, o presente trabalho consiste em uma pesquisa é do tipo exploratório-descritiva.

A pesquisa descritiva tem como principal interesse descobrir e observar fenômenos, procurando descrevê-los, classificá-los e interpretá-los (RUDIO, 2014). “Nas pesquisas descritivas, os fatos são observados, registrados e interpretados, sem que o pesquisador interfira sobre eles.” (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 52). Já a pesquisa exploratória tem como finalidade proporcionar um maior entendimento do assunto investigado por meio de mais informações, permitindo um estudo do tema com adoção de diversos ângulos e aspectos (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A pesquisa documental tem como característica que a fonte de coleta de dados é restrita a documentos, escritos ou não, formando o que se denomina de fontes primárias. As fontes podem ser coletadas no momento em que o fato acontece, ou depois (MARCONIS; LAKATOS, 1999). A pesquisa bibliográfica é a busca de informações bibliográficas selecionando os documentos em relação ao tema da pesquisa. Isso inclui livros, estudos, revistas, dentre outros (MACEDO, 1996). “Sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto.” (MARCONIS; LAKATOS, 1999, p. 73).

No presente estudo, foi analisado um documento da empresa Sigma chamado de programação de entregas, que traz diversas informações a respeito das distribuições de produtos previstas para um dia, detalhando os itens, veículos e clientes. Os documentos bibliográficos utilizados foram livros, artigos, monografias e teses sobre os diversos temas relacionados com o problema da pesquisa.

A pesquisa de campo é aquela que se objetiva a conseguir informações sobre o problema de estudo, hipótese que se queira comprovar ou descobrir novos fenômenos bem como as relações entre eles (MARCONIS; LAKATOS, 1999). “Nesse sentido, o pesquisador vai ao campo para coletar dados que serão depois analisados, utilizando uma variedade de métodos tanto para a coleta quanto para a análise.” (KAHLMAYER-MERTENS et al., 2007).

A pesquisa de campo foi realizada na empresa Sigma, no setor de planejamento logístico, onde são concentradas todas as informações a respeito das operações da organização. A pesquisa aconteceu de forma a solicitar ao setor a programação de entregas diária de um dia aleatório do mês de agosto de 2017.

A natureza desta pesquisa é quantitativa. Isto é, trata-se de um estudo onde um certo número de casos individuais, com fatores quantificados, conforme necessidade do estudo e podendo servir constantemente de dados estatísticos, tem como objetivo generalizar o que foi encontrado nos casos particulares (RAMPAZZO, 2005).

O presente estudo aplicará a pesquisa quantitativa analisando as informações de entregas de um dia aleatório com aplicabilidade no problema de roteamento de veículo clássico a fim de identificar cenários de estudo para futura comparação.

3.1 ESTUDO DE CASO – EMPRESA SIGMA

O estudo de caso é uma investigação empírica que examina um fenômeno atual de maneira complexa e em seu contexto de mundo real, principalmente quando os limites entre eles não estiverem facilmente visíveis (YIN, 2015).

O trabalho em questão abordará uma companhia referência no segmento de transporte de combustíveis no norte e nordeste. Por sigilo, o nome da empresa em estudo será suprimido neste trabalho, sendo doravante denominá-la de empresa Sigma.

O objeto de estudo será a programação de entregas diária. Esta operação caracteriza-se por entregas em postos de combustíveis na cidade de Fortaleza e região metropolitana. O atendimento é realizado por caminhões-tanque com capacidade de carga de 30.000 litros, sendo esse volume dividido em compartimentos de 5.000 litros em cada frota. Essa divisão ocorre devido aos diversos produtos transportados bem como variação nos pedidos solicitados pelos clientes. Os veículos operam em regime de jornada 24h, tendo seu início na madrugada de segunda feira com término ao final do dia de sábado.

“Chama-se de ‘coleta de dados’ a fase do método de pesquisa, cujo objetivo é obter informações da realidade” (RUDIO, 2014, p. 111). Os instrumentos mais necessários à pesquisa são o que indicam a existência ou não de um fenômeno bem como os que o quantificam, fornecendo uma medida sobre o mesmo (RUDIO, 2014).

A pesquisa documental foi utilizada nos arquivos da empresa Sigma, com informações extraídas do sistema TOTVS®. As amostras estudadas foram somente da operação de entrega em postos de combustíveis.

3.2 MÉTODO DE COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Nesta subseção é apresentado o método de coleta, tabulação e tratamento dos dados que foram utilizados para análise dos resultados.

As técnicas de coletas de dados podem ser definidas como um conjunto de ferramentas, instrumentos e operações que se direcionam para obtenção do percurso utilizado no método (BIAGI, 2012).

Os dados analisados foram coletados a partir de relatórios gerados no sistema TOTVS® referente a um dia de entregas, escolhido de forma aleatório, no mês de agosto de 2017. Por meio dos relatórios foi possível obter informações dos clientes, datas de entrega, volume e produtos solicitados.

A tabulação tem como objetivo estabelecer o processo, pelo qual se apresentam graficamente os dados obtidos das categorias, em formato de tabelas, permitindo resumir os dados de observação, de maneira a facilitar o entendimento e possíveis relações entre os eles (RUDIO, 2014). Pode ser feita de maneira manual ou com uso de computadores, porém em estudos mais complexos, com números de casos e tabulações mistas elevadas, é indicado o uso de programas computacionais (MARCONIS; LAKATOS, 1999).

Com a utilização do *software Microsoft Office Excel®* realizou-se todo o processo de tabulação de dados, agrupando-os, após extraídos do relatório do sistema, obtendo-se de forma resumida as informações mais pertinentes ao estudo.

Após a tabulação, foi realizada a análise e interpretação dos dados. “A análise dos dados tem por finalidade a interpretação de dados pertinentes ao problema da pesquisa.” (LOPES, 2006, p. 37). Interpretação de dados “é a atividade intelectual que procura dar um significado mais amplo as respostas, vinculando-as a outros conhecimentos.” (MARCONIS; LAKATOS, 1999).

Na análise proposta, existe um interesse na medida das características dos elementos de toda a população. O resultado desse tipo de análise é a obtenção de valores precisos dos parâmetros com base na investigação realizada em todos os elementos da população (SILVESTRE, 2007).

Os pontos que se referem aos clientes foram agrupados, chamando o primeiro de “1” até o último cliente, “5”, com as respectivas coordenadas. Através dessa denominação foi possível relacionar todos os pontos de uma forma “limpa”. Por meio do *Google Maps* obtiveram-se as coordenadas geográficas de cada cliente bem como as distâncias entre todos os pontos, criando assim a matriz de distância do problema. O tratamento dos dados proporcionou que fosse feita análises bivariadas sobre as distâncias e custos do transporte antes da aplicação da roteirização.

3.3 MODELO MATEMÁTICO ADAPTADO

O modelo utilizado neste estudo é uma adaptação do problema de roteamento de veículos clássico para a instância do problema na empresa pesquisada. O modelo adaptado possui a seguinte formulação: um conjunto de veículos idênticos são representados pelo conjunto $V = \{1, \dots, M\}$, sendo necessário realizar entregas em uma determinada região. Um conjunto C representa os n clientes presentes nessa região, sendo vértices de um grafo $G = \{C, A\}$, de forma que A é o conjunto de arestas. Incluem-se dois outros vértices, denominados de vértices 0 e $n + 1$, representando o ponto de onde partirão e chegarão todos os veículos respectivamente. Além disso é dado c_{ij} que representa o deslocamento necessário do cliente i ao cliente j (SILVA et al., 2008).

O modelo matemático do PRCV adaptado leva em consideração os dados citados no parágrafo anterior bem como as seguintes variáveis (SILVA et al., 2008):

- a) t_{jv} é o instante de chegada do veículo v ao cliente $j, j = 1, 2, \dots, n$;
- b) $X_{i,jv}$ é uma variável binária definida por $X_{i,jv} = 1$, se na rota do veículo ele seguir diretamente do cliente i ao cliente j , ou $X_{i,jv} = 0$, caso contrário.

Dessa forma, pode-se modelar o problema conforme a Figura 3.

Figura 3 – Modelagem do modelo adaptado do PRVC

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } z &= \sum_{v=1}^M \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^{n+1} c_{ij} X_{ijv} & (1) \\ \text{Sujeito a:} & \\ \sum_{v=1}^M \sum_{j=1}^{n+1} X_{ijv} &= 1, \forall i \in C & (2) \\ \sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=1}^n X_{ijv} &= Q, \forall v \in V & (3) \\ \sum_{j=1}^n X_{0jv} &= 1, \forall v \in V & (4) \\ \sum_{j=1}^n X_{ihv} - \sum_{j=1}^n X_{h jv} &= 0, \forall v \in V, h \in C & (5) \\ \sum_{i=1}^n X_{i(n+1)v} &= 1, \forall v \in V & (6) \end{aligned}$$

Fonte: Silva et al., 2008.

No ponto (1) tem-se a função objetivo buscando minimizar a distância percorrida na realização das entregas de cada cliente; O grupo de restrições a partir do ponto (2), obriga que somente um veículo realize a entrega de um cliente, em (3) tem-se a restrição de capacidade de cada veículo para que não ultrapasse Q unidades. O ponto (4) garante que todo veículo tenha sua rota de entregas iniciando sempre no depósito e em (6) garante o retorno a este depósito ao final da rota. Em (5), faz-se com que o veículo em rota do cliente i , dirija-se ao próximo cliente j , ou retorne ao depósito. As restrições (4), (5) e (6) geram a rota de cada veículo utilizado nas entregas (SILVA et al., 2008).

4 RESULTADOS DA PESQUISA

Nesta seção foram demonstradas as informações pertinentes ao objeto de estudo, descrevendo a empresa pesquisada, o seu modelo atualmente utilizado, bem como a aplicação do PRVC e análise dos seus cenários a fim de visualizar os ganhos na operação de entrega de combustíveis em Fortaleza/CE e região metropolitana.

4.1 OBJETO DE ESTUDO – EMPRESA SIGMA

O presente estudo foi realizado em uma empresa do ramo de distribuição de combustíveis com matriz na cidade de Fortaleza/CE e atuante em mais de 10 estados no Brasil. Atualmente a empresa Sigma atua nas regiões norte e nordeste, cobrindo uma grande área do território nacional.

A empresa Sigma opera com o transporte dos produtos adquiridos em usinas com destino as bases primárias, transferência de produtos das bases primárias para as secundárias e entrega final aos postos de combustíveis.

O objeto desse estudo é a aplicação de um modelo adaptado do problema de roteamento de veículos clássico na operação de entrega de combustíveis em postos na cidade de Fortaleza/CE e região metropolitana.

4.1.1 Características e Instância do Problema

O transporte de combustíveis é realizado por caminhões-tanque com capacidade de 30.000 litros, sendo divididos em compartimentos de 5.000 litros para que se possa entregar a vários clientes por viagem bem como a separação para os diversos tipos de produtos transportados.

A operação se caracteriza por carregamento em uma distribuidora de combustíveis localizada na região do porto do Mucuripe, Fortaleza/CE, com entregas em postos na cidade de Fortaleza/CE e região metropolitana.

As programações de entregas são enviadas no dia anterior à data de entrega dos clientes ($D - 1$). Dessa forma, na noite do dia ($D - 1$) é possível visualizar todas as entregas previstas para os veículos no dia seguinte. De forma constante, existem solicitações de alterações da ordem de clientes e mudança de placas nas entregas durante na diária. Isso ocorre por que muitas vezes há erros na programação, sendo necessário uma análise manual e uma crítica para alterar as entregas.

Quanto ao custo de transporte, este se caracteriza por um custo com base no quilometro (km) percorrido pelo veículo ao longo de sua rota, sendo desconsiderado seu retorno até o depósito para um novo carregamento. O valor base utilizado nesse estudo é de R\$ 6,20, tal qual como adotado na empresa Sigma em Fortaleza. Isto é,

multiplicando esse valor com a distância percorrida pelo veículo, tem-se o resultante o custo de transporte.

Foi utilizado como estudo a programação de entregas referente a um dia aleatório de agosto/2017, contendo cinco clientes com a utilização de três veículos. A seguir tem-se informações relevantes para o estudo de caso:

Quadro 1 – Matriz de distancias, demanda dos clientes e capacidade de frota

		DESTINO					
		0	1	2	3	4	5
ORIGEM	0	0	7	8	58	20	19
	1	9	0	5	59	13	12
	2	10	4	0	53	14	13
	3	59	57	53	0	66	56
	4	25	17	18	62	0	25
	5	20	12	14	57	9	0
DEMANDA		-	5	5	10	10	25
CAPACIDADE DO VEICULO		30					

Fonte: O autor.

4.2 CENÁRIO E APLICAÇÃO

A roteirização aplicada neste estudo foi por meio da resolução do problema de roteamento de veículos clássico adaptado ao problema do presente estudo. Através do *software* LINDO® obteve-se as rotas ótimas levando em consideração seu objetivo e restrições do problema. A seguir tem-se o cenário antes da aplicação da roteirização bem como o resultante da pós-otimização, comparando as distâncias e custo de frete a fim de se visualizar os possíveis ganhos.

4.2.1 Operação sem Técnica de Roteirização

As entregas são realizadas com três veículos. Todos partindo de um ponto de carga com destino aos clientes. As distâncias são calculadas de ponto a ponto conforme as entregas são realizadas. Devido ao regime de custo de transporte da operação incluir um valor fixo mais um valor variável, aborda-se nesse estudo

somente o valor variável, que é dado por km rodado. O retorno ao ponto de carregamento não é contabilizado.

A seguir tem-se um quadro resumo sobre as informações da entrega no dia em estudo:

Quadro 2 – Distancias e custos realizados na entrega para os cinco clientes

CLIENTE	KM	VALOR POR KM	CUSTO DE TRANSPORTE
1	17	R\$ 6,20	R\$ 105,40
2	18	R\$ 6,20	R\$ 111,60
3	54	R\$ 6,20	R\$ 334,80
4	46	R\$ 6,20	R\$ 285,20
5	4,83	R\$ 6,20	R\$ 29,95
TOTAL	139,83 Km		R\$ 866,95

Fonte: O autor.

4.2.2 Aplicação do PRVC (Problema de Roteamento de Veículos Clássico)

Para a aplicação do PRVC utilizou-se o software LINDO® na modelagem matemática do problema da pesquisa para a devida resolução. A estruturação da modelagem resume-se em função objetivo e restrições para o problema. O objetivo do problema foi diminuir as distâncias e com isso reduzir os custos com transporte na operação.

Quadro 3 – Resumo do resultado da modelagem matemática no LINDO®

<i>Variable</i>	<i>Value</i>	<i>Reduced Cost</i>
X021	1.000000	8.000000
X261	1.000000	10.000000
X042	1.000000	20.000000
X432	1.000000	62.000000
X362	1.000000	59.000000
X013	1.000000	7.000000
X153	1.000000	12.000000
X563	1.000000	20.000000

Fonte: O autor.

Chamou-se de ponto “0” e “6” o ponto de carregamento ou depósito, e de “1” a “5” os respectivos clientes. A modelagem completa pode ser visualizada no

apêndice A (p. 30). A coluna “*value*” quando preenchida com valor “1” indica que aquela é uma rota ótima com o valor no campo “*Reduced Cost*” representando a distância percorrida. Na primeira linha do quadro 3 tem-se uma origem no ponto “0” para o ponto “2” no veículo “1” com uma distância realizada de 8 km.

Após a resolução do modelo obteve-se as rotas ótimas. O quadro a seguir representa as ordens das entregas bem como alocação das entregas nos veículos:

Quadro 4 – Entregas por veículo

Origem	Destino	Veiculo	Distancia
0	2	1	8
2	6	1	0
0	4	2	20
4	3	2	62
3	6	2	0
0	1	3	7
1	5	3	12
5	6	3	0
Total			109

Fonte: O autor.

O veículo 1 deve seguir para o cliente 2 e em seguida para o depósito (6). O veículo 2 deve seguir para o cliente 4, depois para o cliente 3 e por fim retornar ao depósito (6). O veículo 3 deve seguir para o cliente 1 e a posteriori para o cliente 5 finalizando com o retorno ao depósito (6).

Como não existe custo de transporte no trecho do último cliente da rota para o depósito, os valores obtidos na resolução do LINDO® foram zerados.

Abaixo tem-se as representações das rotas por veículo por meio do *Google Maps®*.

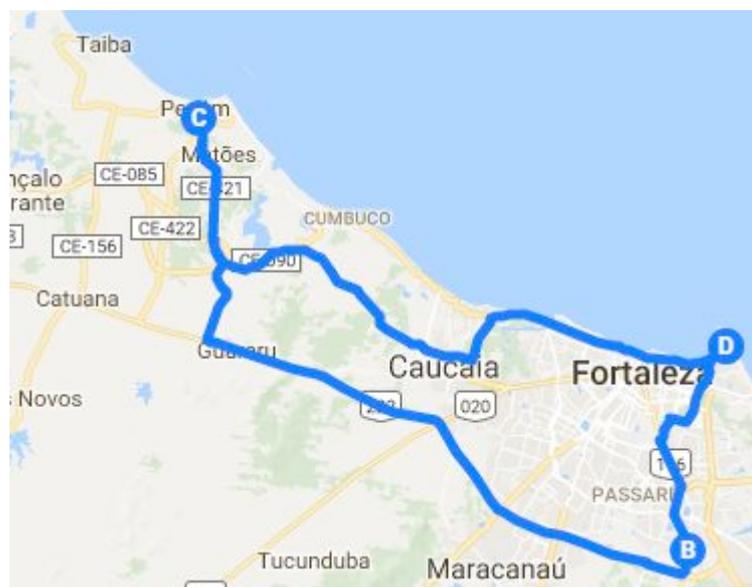
Figura 3 – Rota gerada para o veículo “1”



Fonte: Adaptado pelo autor no Google Maps®

Ponto A e C referem-se ao depósito e o ponto B ao cliente 2. O ponto C está sobreposto ao ponto A pois refere-se ao mesmo local.

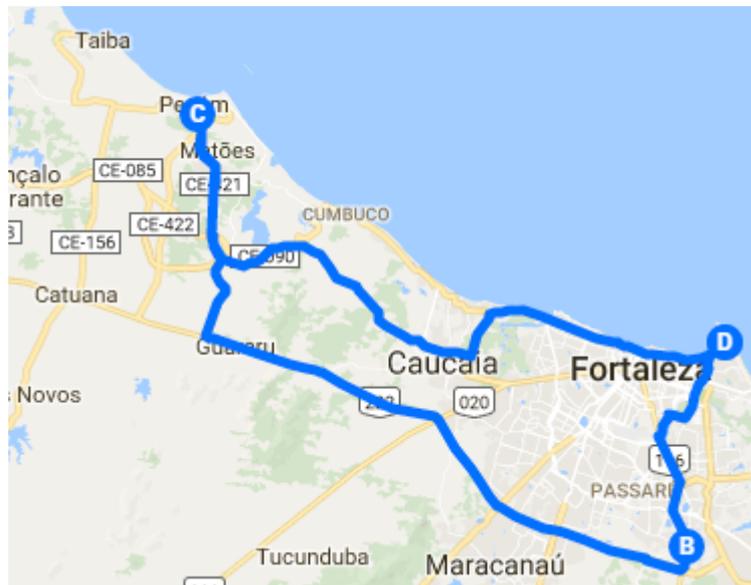
Figura 4 – Rota gerada para o veículo “2”



Fonte: Adaptado pelo autor no Google Maps®

Ponto A e D referem-se ao depósito, o ponto B refere-se ao cliente 4 e o ponto C ao cliente 3. O ponto D está sobreposto ao ponto A pois referem-se ao mesmo local.

Figura 5 – Rota gerada para o veículo “3”



Fonte: Adaptado pelo autor no *Google Maps*®

Ponto A e D referem-se ao depósito, o ponto B refere-se ao cliente 1 e o ponto C ao cliente 5. O ponto D está sobreposto ao ponto A pois referem-se ao mesmo local.

4.2.3 Comparação dos Modelos

Após levantamento dos dados sobre as entregas realizadas no período em estudo e resolução do problema de roteamento de veículos clássico adaptado para o presente cenário, foi possível comparar as instâncias e identificar possíveis ganhos e oportunidades de melhoria. O quadro a seguir representa uma comparação com o modelo antes utilizado e com o modelo adaptado do PRVC:

Quadro 5 – Comparação dos modelos

CLIENTE	MODELO TRADICIONAL		MODELO PRVC		RESULTADOS	
	KM	CUSTO DE TRANSPORTE	KM	CUSTO COM TRANSPORTE	KM	CUSTO DE TRANSPORTE
1	17	R\$ 105,40	7	R\$ 43,40	-22%	-22%
2	18	R\$ 111,60	8	R\$ 49,60		
3	54	R\$ 334,80	62	R\$ 384,40		
4	46	R\$ 285,20	20	R\$ 124,00		
5	4,83	R\$ 29,95	12	R\$ 74,40		
TOTAL	139,83	R\$ 866,95	109	R\$ 675,80		

Fonte: O autor

Conforme acima é perceptível uma diferença significativa com o modelo do PRVC. Em números, teve-se uma redução de 22% na distância percorrida e consequentemente no custo de transporte. Uma análise mais minuciosa mostra que não são necessários três veículos para atender os respectivos clientes, tendo em vista que no primeiro veículo temos apenas um cliente para entrega com uma demanda de 5m³, enquanto que no segundo veículo teve-se apenas duas entregas totalizando 20m³ em demanda. Levando-se em consideração que cada veículo tem capacidade de 30m³, a demanda do primeiro cliente poderia ser alocada para o segundo veículo, dessa forma teríamos otimização da rota.

5 CONCLUSÃO

Ao decorrer dos anos, novos estudos e ferramentas surgiram em prol da melhoria de processos e reduções de custo nos mais diversos segmentos. Em uma sociedade empresarial “acirrada”, as empresas buscam constantemente otimizar suas operações. Diante deste cenário, o objetivo geral deste artigo buscou analisar a roteirização de veículos de maneira a se obter um menor percurso para um conjunto de entregas e consequentemente reduzir seu custo de transporte. Por meio do mapeamento do cenário atual no item 4.2.1, descrita na aplicação do PRCV no item 4.2.2 e comparado aos dados no item 4.2.3, foram possíveis identificar oportunidades de melhorias e redução no custo de transporte na operação de entrega de combustíveis.

No referencial teórico abordaram-se os objetivos específicos deste trabalho. Na primeira subseção do referencial, teve-se um breve histórico sobre os sistemas

de transportes no Brasil, sendo perceptível que através dos anos o modal rodoviário é cada vez mais predominante no território nacional. Sobre esse modal, foi explanado acerca de suas características, particularidades e importância, sendo cada vez mais relevante na geração de riquezas do país. Foi abordada também a logística de uma forma ampla e também aplicada ao transporte de combustíveis, detalhando suas particularidades e o destino final, os postos de combustíveis. Já na segunda subseção foi explanado sobre a roteirização, detalhando seus problemas clássicos com ênfase no PRVC e em seguida descrevendo seu método de solução.

No item 4.2.3 é possível visualizar a resposta para o problema do presente estudo. Com uma redução de 22% na distância total percorrida e conseqüentemente no custo de transporte total, a roteirização influenciou uma significativa redução do custo de transporte da empresa Sigma.

As dificuldades e limitações encontradas na elaboração deste estudo foram ausências de trabalhos com enfoque similar a da aplicação deste modelo, bem como sua modelagem no LINDO®. Em algumas etapas foi preciso analisar linha por linha de código a fim de encontrar erros que impactavam na resolução do problema.

Conclui-se que a roteirização, alinhada a pesquisa operacional, é uma ferramenta que agrega aplicação e conhecimento imprescindível para profissionais e empresas que buscam se diferenciar no mercado.

Por meio do domínio destes assuntos e aplicações pode-se criar uma vantagem competitiva para as organizações. Vale ressaltar que a pesquisa operacional não se aplica somente a problemas de transportes, ela é também amplamente utilizada em problemas da produção, objetivando sempre a maximização do lucro ou redução dos custos.

REFERÊNCIAS

AGOSTO, Márcio d'. **Transporte, uso de energia e impactos ambientais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

AMARAL, Daniel Barzan de Mattos et al. Estudo de roteirização de veículos com aplicação da técnica de varredura para cargas fracionadas. In: Simpósio de excelência em gestão e tecnologia (Seget), 2014, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos Gestão do conhecimento para a sociedade**. Rio de Janeiro: Seget, 2014.

Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/12920167>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 5 ed. São Paulo: Bookman, 2006.

BARAT, Josef. **Logística e transporte no processo de globalização**: oportunidade para o Brasil. São Paulo: UNESP, 2007.

BARAT, Josef. **Logística, transporte e desenvolvimento econômico**. 1. ed. São Paulo: Cla editora, 2007.

BELFIORE, Patrícia Prado. **Scatter search para problemas de roteirização de veículos com frota heterogênea, janelas de tempo e entregas fracionadas**. 2006, 222 p. Tese (Doutor em Engenharia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-05092006-145756/pt-br.php>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

BELFIORE, Patrícia. FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa operacional para custos de administração**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

BIAGI, Marta Cristina. **Pesquisa científica**: roteiro prático para desenvolver projetos e teses. Curitiba: Juruá, 2012.

CAXITO, Fabiano et al. **Logística**: um enfoque prático. São Paulo: Saraiva, 2011.

FARKUH NETO, Alberto; LIMA, Renato da Silva. Roteirização de veículos de uma rede atacadista com o auxílio de sistemas de informações geográficas (SIG). **Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**, Minas Gerais, n. 5, p. 18-39, jun. 2006. Disponível em: <http://www.rslima.unifei.edu.br/download1/pqm02/n5_art02.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2017.

FERREIRA FILHO, Virgílio José Martins. **Gestão de operações e logística na produção de petróleo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

FIGUEREIDO, Renata. **Gargalos logísticos na distribuição de combustíveis brasileira**. 2006. 12 p. Disponível em: <www.coppead.ufrj.br/pt-br/upload/publicacoes/ArtLog_MAI_2006>. Acesso em: 17 set. 2017.

GOLDBARG, Elizabeth; GOLDBARG, Marco. **Grafos: conceitos, algoritmos e aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

GOMES, Carlos Francisco Simões; RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral. **Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia**. São Paulo: Thomson, 2014

GORDINHO, Margarida Cintra. **Transportes no Brasil, à opção rodoviária**. São Paulo: Marca d'água, 2003.

KAHLMAYER-MERTENS, Roberto S. et al. **Como elaborar projeto de pesquisa: linguagem e método**. Rio de Janeiro: FGV, 2007.

KEEDI, Samir. **Logística de transporte internacional: veículo prático de competitividade**. 5. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2015.

LINDO. LINDO System, Inc. **User's Manual**. Chigaco: LINDO, 2017. Disponível em: <<http://www.lindo.com/downloads/PDF/LindoUsersManual.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2017.

LOPES, Jorge. **O fazer do trabalho científico em ciências sociais aplicadas**. Recife: Universitária da UFPE, 2006.

LEMES, Frederico Sauer Pais; Souza, Antônio Artur de; PEREIRA, Anna Carolina Corrêa. Gerenciamento da cadeia de suprimentos em uma distribuidora de combustíveis. **Convibra Administração**. Minas Gerais, nov. 2010. Disponível em: <http://www.convibra.org/upload/paper/adm/adm_1626.pdf>. Acesso em: 9 out. 2017.

MACEDO, Neusa Dias de. **Iniciação à pesquisa bibliográfica: guia do estudante para a fundamentação do trabalho de pesquisa**. 2. ed. São Paulo: Unimarco, 1996.

MALIGO, Carlos. **Modelo para simulação da operação de carregamento de caminhões-Tanque em uma base de distribuição de combustíveis automotivos**. 2005, 170 p. Tese (Mestre em Logística). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0311059_05_pretextual.pdf>. Acesso em: 9 out. 2017.

MARCONIS, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

MARTINS, Ricardo Caixeta; CAIXETA-FILHO, José Vicente. **Gestão logística de transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, 2014.

MATOS JUNIOR, Carlos Alberto de et al. A contribuição da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em empresa do segmento alimentício no Ceará. **Associação Brasileira de Custos (ABCustos)**, Ceará, v. 4, n.3, set.-dez. 2014. Disponível em: <<https://abcustos.emnuvens.com.br/abcustos/article/view/284/3>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

MORABITO, Reinaldo et al. **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PRODANOV, Cristiano Cleber; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Rio Grande do Sul: Feevale, 2013.

PUNNEN, Abraham P., GUTIN, Gregory. **The traveling salesman problem and its variations**. Nova Iorque: Springer, 2007.

RAMPAZZO, Lino. **Metodologia científica: para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação**. 3. ed. São Paulo: Loyola, 2005.

RUDIO, Franz Victor. **Introdução ao projeto de pesquisa científica**. 42. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2014.

SILVA, José Lassance de Castro; XAVIER, Sandro Luiz de Paixão; SILVA, Bruno de Castro Honorato. Problema de roteamento de veículos aplicado à coleta de gêneros alimentícios: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 40., 2008, João Pessoa. **Anais eletrônico...** Fortaleza: UFC, 2008. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/13120/1/2008_eve_jlcsilva_problema.pdf>. Acesso em: 9 out. 2017.

SILVESTRE, Antônio Luís. **Análise de dados e estatísticos descritivos**. São Paulo: Escolar, 2007.

SINDICOM. Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de lubrificantes. **Mapa de logística** – Associadas SINDICOM. Rio de Janeiro: SINDICOM, 2016. Disponível em: <http://www.sindicom.com.br/images/file/combustiveis/Mapa_site.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2017.

SOUZA, Márcio Carlos; BORINELLI, Márcio Luiz. **Controladoria**. Curitiba: IESDE BRASIL, 2012.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2015.

XU, Jumming. **Theory and application of graphs**. Nova Iorque: Springer science + business media, LLC, 2003.

APÊNDICES

Apêndice A – Modelagem no LINDO®

```

File Edit LINGO Window Help
[Icons]
MIN 7x011+8x021+58x031+20x041+19x051+5x121+59x131+13x141+12x151+
9x161+4x211+53x231+14x241+13x251+10x261+57x311+53x321+66x341+
56x351+59x361+17x411+18x421+62x431+25x451+25x461+12x511+14x521+57x531+
9x541+20x561+7x012+8x022+58x032+20x042+19x052+5x122+59x132+13x142+12x152+
9x162+4x212+53x232+14x242+13x252+10x262+57x312+53x322+66x342+56x352+59x362+
17x412+18x422+62x432+25x452+25x462+12x512+14x522+57x532+9x542+20x562+7x013+
8x023+58x033+20x043+19x053+5x123+59x133+13x143+12x153+9x163+4x213+53x233+14x243+
13x253+10x263+57x313+53x323+66x343+56x353+59x363+17x413+18x423+62x433+25x453+
25x463+12x513+14x523+57x533+9x543+20x563

ST

X121+X131+X141+X151+X161+X122+X132+X142+X152+X162+X123+X133+X143+X153+X163=1
X211+X231+X241+X251+X261+X212+X232+X242+X252+X262+X213+X233+X243+X253+X263=1
X311+X321+X341+X351+X361+X312+X322+X342+X352+X362+X313+X323+X343+X353+X363=1
X411+X421+X431+X451+X461+X412+X422+X432+X452+X462+X413+X423+X433+X453+X463=1
X511+X521+X531+X541+X561+X512+X522+X532+X542+X562+X513+X523+X533+X543+X563=1

5x011+5x021+10x031+10x041+25x051+5x121+10x131+10x141+25x151+5x211+10x231+10x241+25x251+
5x311+5x321+10x341+25x351+5x411+5x421+10x431+25x451+5x511+5x521+10x531+10x541<=30
5x012+5x022+10x032+10x042+25x052+5x122+10x132+10x142+25x152+5x212+10x232+10x242+25x252+
5x312+5x322+10x342+25x352+5x412+5x422+10x432+25x452+5x512+5x522+10x532+10x542<=30
5x013+5x023+10x033+10x043+25x053+5x123+10x133+10x143+25x153+5x213+10x233+10x243+25x253+
5x313+5x323+10x343+25x353+5x413+5x423+10x433+25x453+5x513+5x523+10x533+10x543<=30

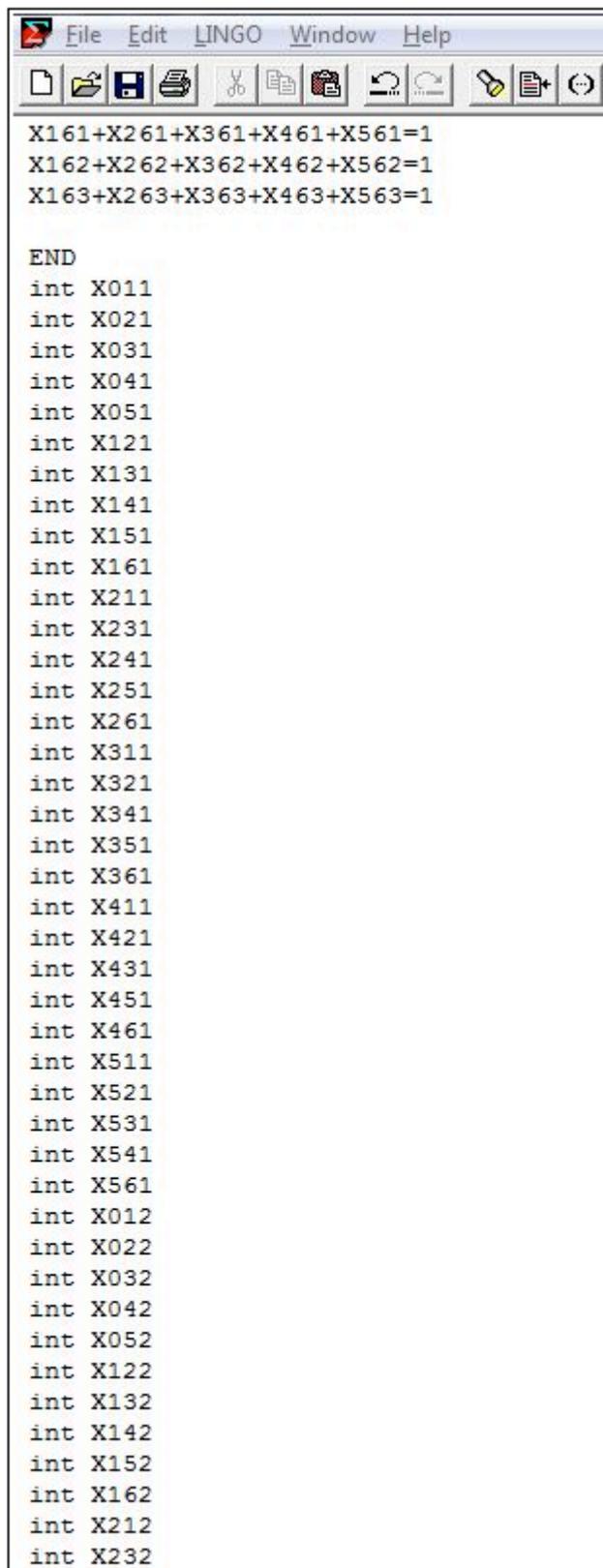
X011+X021+X031+X041+X051=1
X012+X022+X032+X042+X052=1
X013+X023+X033+X043+X053=1

X011+X211+X311+X411+X511-X121-X131-X141-X151-X161=0
X021+X121+X321+X421+X521-X211-X231-X241-X251-X261=0
X031+X131+X231+X431+X531-X311-X321-X341-X351-X361=0
X041+X141+X241+X341+X541-X411-X421-X431-X451-X461=0
X051+X151+X251+X351+X451-X511-X521-X531-X541-X561=0

X012+X212+X312+X412+X512-X122-X132-X142-X152-X162=0
X022+X122+X322+X422+X522-X212-X232-X242-X252-X262=0
X032+X132+X232+X432+X532-X312-X322-X342-X352-X362=0
X042+X142+X242+X342+X542-X412-X422-X432-X452-X462=0
X052+X152+X252+X352+X452-X512-X522-X532-X542-X562=0

X013+X213+X313+X413+X513-X123-X133-X143-X153-X163=0
X023+X123+X323+X423+X523-X213-X233-X243-X253-X263=0
X033+X133+X233+X433+X533-X313-X323-X343-X353-X363=0
X043+X143+X243+X343+X543-X413-X423-X433-X453-X463=0
X053+X153+X253+X353+X453-X513-X523-X533-X543-X563=0
    
```

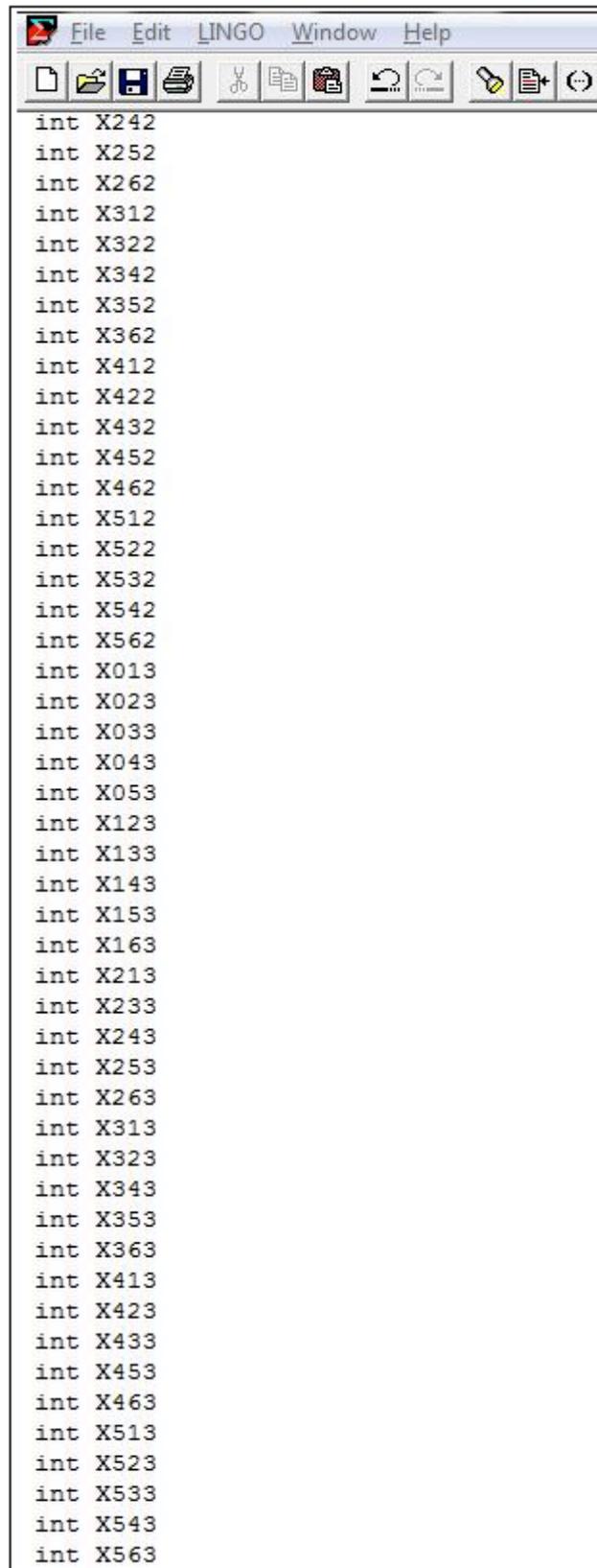
Apêndice A – Modelagem no LINDO®



```
File Edit LINDO Window Help
X161+X261+X361+X461+X561=1
X162+X262+X362+X462+X562=1
X163+X263+X363+X463+X563=1

END
int X011
int X021
int X031
int X041
int X051
int X121
int X131
int X141
int X151
int X161
int X211
int X231
int X241
int X251
int X261
int X311
int X321
int X341
int X351
int X361
int X411
int X421
int X431
int X451
int X461
int X511
int X521
int X531
int X541
int X561
int X012
int X022
int X032
int X042
int X052
int X122
int X132
int X142
int X152
int X162
int X212
int X232
```

Apêndice A – Modelagem no LINDO®



The image shows a screenshot of the LINDO software interface. The window title is "LINDO" and the menu bar includes "File", "Edit", "LINGO", "Window", and "Help". The toolbar contains icons for file operations (new, open, save, print), editing (cut, copy, paste), and solving (solve, reset, help). The main text area displays a list of integer variables, each starting with "int" followed by a variable name:

```
int X242
int X252
int X262
int X312
int X322
int X342
int X352
int X362
int X412
int X422
int X432
int X452
int X462
int X512
int X522
int X532
int X542
int X562
int X013
int X023
int X033
int X043
int X053
int X123
int X133
int X143
int X153
int X163
int X213
int X233
int X243
int X253
int X263
int X313
int X323
int X343
int X353
int X363
int X413
int X423
int X433
int X453
int X463
int X513
int X523
int X533
int X543
int X563
```

Apêndice A – Modelagem no LINDO®

Global optimal solution found.

Objective value: 198.0000
 Objective bound: 198.0000
 Infeasibilities: 0.000000
 Extended solver steps: 0
 Total solver iterations: 67

Variable	Value	Reduced Cost
X011	0.000000	7.000000
X021	1.000000	8.000000
X031	0.000000	58.000000
X041	0.000000	20.000000
X051	0.000000	19.000000
X121	0.000000	5.000000
X131	0.000000	59.000000
X141	0.000000	13.000000
X151	0.000000	12.000000
X161	0.000000	9.000000
X211	0.000000	4.000000
X231	0.000000	53.000000
X241	0.000000	14.000000
X251	0.000000	13.000000
X261	1.000000	10.000000
X311	0.000000	57.000000
X321	0.000000	53.000000
X341	0.000000	66.000000
X351	0.000000	56.000000
X361	0.000000	59.000000
X411	0.000000	17.000000
X421	0.000000	18.000000
X431	0.000000	62.000000
X451	0.000000	25.000000
X461	0.000000	25.000000
X511	0.000000	12.000000
X521	0.000000	14.000000
X531	0.000000	57.000000
X541	0.000000	9.000000
X561	0.000000	20.000000
X012	0.000000	7.000000
X022	0.000000	8.000000
X032	0.000000	58.000000
X042	1.000000	20.000000
X052	0.000000	19.000000
X122	0.000000	5.000000
X132	0.000000	59.000000
X142	0.000000	13.000000

Apêndice A – Modelagem no LINDO®

The screenshot shows the LINDO software interface with a menu bar (File, Edit, LINGO, Window, Help) and a toolbar. The main window displays a list of variables and their values, organized in three columns: variable name, a coefficient (mostly 0.000000 or 1.000000), and a right-hand side value.

X142	0.000000	13.000000
X152	0.000000	12.000000
X162	0.000000	9.000000
X212	0.000000	4.000000
X232	0.000000	53.000000
X242	0.000000	14.000000
X252	0.000000	13.000000
X262	0.000000	10.000000
X312	0.000000	57.000000
X322	0.000000	53.000000
X342	0.000000	66.000000
X352	0.000000	56.000000
X362	1.000000	59.000000
X412	0.000000	17.000000
X422	0.000000	18.000000
X432	1.000000	62.000000
X452	0.000000	25.000000
X462	0.000000	25.000000
X512	0.000000	12.000000
X522	0.000000	14.000000
X532	0.000000	57.000000
X542	0.000000	9.000000
X562	0.000000	20.000000
X013	1.000000	7.000000
X023	0.000000	8.000000
X033	0.000000	58.000000
X043	0.000000	20.000000
X053	0.000000	19.000000
X123	0.000000	5.000000
X133	0.000000	59.000000
X143	0.000000	13.000000
X153	1.000000	12.000000
X163	0.000000	9.000000
X213	0.000000	4.000000
X233	0.000000	53.000000
X243	0.000000	14.000000
X253	0.000000	13.000000
X263	0.000000	10.000000
X313	0.000000	57.000000
X323	0.000000	53.000000
X343	0.000000	66.000000
X353	0.000000	56.000000
X363	0.000000	59.000000
X413	0.000000	17.000000
X423	0.000000	18.000000
X433	0.000000	62.000000
X453	0.000000	25.000000

Apêndice A – Modelagem no LINDO®

The screenshot shows the LINDO software interface. The top menu bar includes 'File', 'Edit', 'LINGO', 'Window', and 'Help'. Below the menu is a toolbar with various icons for file operations and solving. The main window displays the following data:

X323	0.000000	53.00000
X343	0.000000	66.00000
X353	0.000000	56.00000
X363	0.000000	59.00000
X413	0.000000	17.00000
X423	0.000000	18.00000
X433	0.000000	62.00000
X453	0.000000	25.00000
X463	0.000000	25.00000
X513	0.000000	12.00000
X523	0.000000	14.00000
X533	0.000000	57.00000
X543	0.000000	9.000000
X563	1.000000	20.00000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	198.0000	-1.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	25.00000	0.000000
8	10.00000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000
15	0.000000	0.000000
16	0.000000	0.000000
17	0.000000	0.000000
18	0.000000	0.000000
19	0.000000	0.000000
20	0.000000	0.000000
21	0.000000	0.000000
22	0.000000	0.000000
23	0.000000	0.000000
24	0.000000	0.000000
25	0.000000	0.000000
26	0.000000	0.000000
27	0.000000	0.000000
28	0.000000	0.000000
29	0.000000	0.000000
30	0.000000	0.000000