

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Felipe Brum de Brito Sousa

**MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA DISTRIBUIÇÃO
FÍSICA COMPARTILHADA DE JORNAIS E PRODUTOS
DE E-COMMERCE**

Porto Alegre

2016

Felipe Brum de Brito Sousa

**MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA DISTRIBUIÇÃO
FÍSICA COMPARTILHADA DE JORNAIS E PRODUTOS
DE E-COMMERCE**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia, área de concentração: Sistemas de Transportes e Logística.

Orientadora: Prof^a Helena Beatriz Bettella Cybis, Ph.D.

Porto Alegre

2016

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Professora Helena Beatriz Bettella Cybis, Ph.D.
Orientadora

Professor José Luis Duarte Ribeiro, Dr.
Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Ricardo Augusto Cassel, Ph.D.
PPGEP/UFRGS

Professor Rafael Roco de Araújo, Dr.
PUCRS

Professora Leticia Dexheimer, Dra.
UFPEL

Porto Alegre

2016

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a algumas pessoas sem as quais esse trabalho não teria acontecido. Primeiramente, à professora Helena Cybis por acreditar em mim e no assunto proposto. Ao professor e amigo Fernando Michel, exemplo de educador e apoiador constante no trabalho. Ao professor e amigo Rafael Roco pelo auxílio com as correções. Aos demais professores e colegas do PPGEP-UFRGS pelos ensinamentos. A minha família, Luísa de Bem minha esposa e incentivadora, minha filha Marina pela alegria, meus pais Jussara e Diamantino, minha tia Marly e meu irmão Rafael pelos conselhos. E por fim à Unisinos minha segunda casa onde tenho o privilégio de exercer o cargo de professor de engenharia junto a grandes colegas professores e alunos. Por fim a Deus, pela saúde e persistência de atingir esse difícil objetivo.

RESUMO

A disponibilização de notícias e leitura on-line através de smartphones, tablets e computadores tem reduzido a venda de jornais impressos no mundo, e a logística que faz a distribuição desses jornais impressos tenta encontrar formas de sobreviver à redução de demanda. Por outro lado, a logística de cargas expressas (característica dos modelos de e-commerce) cresce a cada dia fazendo uso de recursos terceirizados otimizados, situação que será acelerada no futuro com as “entregas no mesmo dia” (*same-day delivery*). Este estudo tem como objetivo elaborar um modelo de apoio à decisão para o planejamento da distribuição física compartilhada de jornais e produtos de e-commerce para uso do operador logístico. Propõe-se um problema de alocação de cargas multiperíodo e não um problema típico de roteirização como ocorre na maioria dos estudos de logística rodoviária. Sua resolução será realizada através de otimização discreta (veículos e cargas inteiras), através de Programação Linear Inteira, sendo desenvolvida em seguida Análise de Sensibilidade através de Programação Linear Não Inteira com o relaxamento da restrição de integralidade. Através de modelagem matemática e processamento em Matlab®, analisam-se cenários da distribuição física terceirizada, abrangendo o impacto de incrementos da demanda de chegada na lucratividade, penalizações de receita por postergações de carregamento, variações de custos pela inclusão de frota extra, introdução de multa contratual por não transportar algum produto, e testes com variados tempos de postergação dos carregamentos. Nos testes realizados pelo modelo que simulam uma situação real, a menor lucratividade foi obtida sem a postergação de entrega, modo comumente operado pelo mercado. O ganho percentual com a postergação de carregamentos diminuiu com o aumento da demanda de chegada. O problema de Programação Linear Não Inteira não encontrou diferença de ganho postergando ou não o carregamento. A estrutura de modelagem proposta também pode ser usada para tomada de decisão e auxílio com a escolha de qual entrega realizar; o nível de serviço a oferecer e prazos a cumprir; escolha do mix de clientes; transportadores terceirizados/parceiros a contratar; rotas a atender; frota e tamanho de veículos a utilizar; tipos/mix de produtos a entregar; tarifas de transporte a serem pagas.

Palavras-Chave: logística compartilhada; modelagem matemática; jornais; e-commerce.

ABSTRACT

The availability of news and reading online through smartphones, tablets and computers has reduced the sale of newspapers in the world, and the logistics that makes the distribution of newspapers try to find ways to survive the demand reduction. On the other hand, the logistics express cargo (characteristic of e-commerce models) grows every day making use of optimized outsourced resources, a situation that will be accelerated in the future with the same-day delivery. This study aims to develop a model for decision support for planning the shared physical distribution of newspapers and e-commerce products for use in the logistics operator. It proposes an allocation problem multiperiod loads and not a typical routing problem as in most road logistics studies. Its resolution will be performed by discrete optimization (vehicles and entire cargo) through Integer Linear Programming, and then developed by Non-integer Linear Programming Sensitivity Analysis with relaxation completeness restriction. Through mathematical modeling and processing in Matlab are analyzed scenarios of outsourcing physical distribution, including the impact of increases in demand coming in profitability, penalties revenue by charging postponements, cost variations by including extra fleet, introduction of contractual penalty for not carrying any product, and tests with varying postponement times of shipments. In tests conducted by the model that simulate a real situation, the lower profitability was achieved without delivery postponements, so commonly operated by the market. The percentage gain with the postponement of shipments decreased with increasing demand of arrival. The non-integer linear programming problem did not gain difference postponing or not charging. The proposed model structure can also be used to aid decision-making and with the choice of which delivery perform; the level of service to offer and deadlines; choice of the customer mix; outsourced carriers / partners to contract; routes to meet; fleet and size of vehicles to be used; types / mix of products to be delivered; transportation fees to be paid.

Key Words: shared logistics; mathematical modeling; newspapers; e-commerce.

Lista de Ilustrações

Figura 1: Função de Distribuição desta Tese (baseado em Kobayashi, 2000).	18
Figura 2: Aspectos importantes da logística expressa (Elaborado pelo Autor).	19
Figura 3: Processos Logísticos (Ballou, 2006).	20
Figura 4: Três níveis de decisão (adaptado de Conde, 2013).	24
Figura 5: Nível de serviço (Ballou, 2011).	25
Figura 6: Tipos de Sistema de Informação (Laudon, 2007).	27
Figura 7: Alianças estratégicas em função do grau de integração (César et al., 2006).	32
Figura 8: Custos logísticos (Ballou, 2011).	34
Figura 9: Deslocamento da Curva de Custos versus Nível de Serviço para Estratégias de Serviço Alternativas (Christopher, 1997).	34
Figura 10: Nível de Serviço X Custo Total considerando oportunidades (vendas perdidas) (adaptado de Faria e Costa, 2008).	35
Figura 11: Custo Total versus Produção (Iunes, 1995).	36
Figura 12: Rendimento X Produção (adaptado de Frank, 1994).	37
Figura 13: Vantagens e desvantagens dos diversos tipos de redes (Chopra e Meindl, 2003).	39
Figura 14: Aproveitamento da Capacidade na Logística de Distribuição de Jornais e E-commerce (Fonte: Elaborado pelo Autor).....	41
Figura 15: Aproveitamento da Capacidade no Transporte Aéreo (Fonte: Elaborado pelo Autor).....	42
Figura 16: Comparativo entre Logística de Jornais e E-commerce, Carga Aérea e por Ônibus (Fonte: Elaborado pelo Autor).	46
Figura 17: Comparativo de Estudos do Transporte Aéreo com Logística Compartilhada Rodoviária.....	47
Figura 18: Critérios e Sub-critérios da logística de Alimentos Perecíveis (Tsamboulas, 2013).	50
Figura 19: Exemplo de Distribuição com Multi-Agentes (Teo et al., 2012).....	59
Figura 20: Comparativo dos estudos de carregamento logístico por otimizações/heurísticas.....	63
Figura 21: Fluxograma com Etapas da Metodologia (Fonte: Elaborado pelo Autor).....	68
Figura 22: <i>Stakeholders</i> envolvidos na Logística de Jornais e E-commerce(Fonte: Elaborado pelo Autor).	70
Figura 23: Exemplo de Distribuição Terceirizada de Jornais e E-commerce Brasileira (Fonte: Elaborado pelo Autor).....	74
Figura 24: Percentual de uso da ocupação do sistema versus lucratividade.....	82
Figura 25: Simulações de capacidade utilizada versus lucratividade.....	83
Figura 26: Desenho esquemático do modelo multiperíodo a ser desenvolvido (Fonte: Elaborado pelo Autor).	90
Figura 27: Modelagem em Planilha Excel.....	95
Figura 28: Arquivo de Texto com Programação (TXT).	96
Figura 29: Processamento no Software Matlab® versão 2014b.	96
Figura 30: Programação Linear Não Inteira.....	98
Figura 31: Lucro Mensal versus Demanda de Chegada.....	101
Figura 32: Efeito do Percentual de Penalização pela Postergação na Lucratividade.....	102
Figura 33: Efeito do Valor da Frota Extra na Lucratividade.....	103

Figura 34: Efeito do Valor de Multa por Não Transportar na Lucratividade.....	104
Figura 35: Detalhe do Efeito do Valor de Multa por Não Transportar na Lucratividade.	105
Figura 36: Efeito do Tempo de Postergação na Lucratividade com Capacidade Fixa.....	106
Figura 37: Efeito do Tempo de Postergação na Lucratividade.....	107
Figura 38: Tempo Máximo de Postergação para Demanda Maior de Chegada	109
Figura 39: Preço Sombra pela Inclusão de Demanda, variando o Preço de Entrega.....	110
Figura 40: Preço Sombra pela Inclusão de Demanda, variando o Custo do Veículo Extra.	111
Figura 41: Alteração da Solução Ótima pelo Aumento de Preço.....	113
Figura 42: Alteração da Solução Ótima pelo Aumento do Veículo Extra.....	114

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa para Escolha do Tema.....	13
1.2	Objetivos	13
1.2.1	Objetivo Principal	13
1.2.2	Objetivos Secundários.....	14
1.3	Contribuições Científicas do Estudo.....	14
1.4	Classificação da Pesquisa	15
1.5	Delimitação do Estudo	15
1.6	Estrutura do Trabalho	16
2	LOGÍSTICA.....	17
2.1	Processos Logísticos	20
2.2	Planejamento Logístico	22
2.3	Nível de Serviço	24
2.4	Tecnologia de Informação Aplicada	26
2.5	Terceirizações, Contratos, Parcerias e Alianças	28
2.6	Custos Logísticos	32
2.7	Distribuição Física em Logística.....	37
3	A LOGÍSTICA COMPARTILHADA	41
3.1	Transporte Aéreo	41
3.2	Transporte de Jornais e de Produtos Perecíveis	47
4	SISTEMAS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO.....	52
5	MODELAGEM DE PROBLEMAS LOGÍSTICOS.....	57
5.1	Simulação	58
5.2	Otimização.....	60
5.2.1	Programação Linear	65
5.2.2	Programação Linear Inteira.....	66
6	MÉTODO DE TRABALHO E DESCRIÇÃO DA LOGÍSTICA DE JORNAIS E E-COMMERCE	67
6.1	Metodologia	67
6.2	Descrição da Logística de Jornais e Produtos de E-commerce	69
6.3	Comportamento Operacional e Financeiro da Distribuição	81
7	MODELAGEM MATEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE JORNAIS E E-COMMERCE	84
7.1	Formulação Completa da Distribuição Física	84
7.2	Modelo Multiperíodo para Distribuição Física de Jornais e Produtos de E-commerce	89
8	APLICAÇÕES DO MODELO	95
8.1	Programação Linear Não Inteira	97
8.2	Análise em Função da Demanda de Chegada	98
8.3	Análise do Percentual de Penalização de Receita.....	101
8.4	Análise do Valor da Frota Extra	102
8.5	Análise do Efeito do Valor da Multa por Não Transportar	103
8.6	Análise do Efeito do Tempo Máximo de Postergação na Lucratividade	105
8.6.1	Tempo Máximo de Postergação Considerando Carregamento Fixo de Jornais	105

8.6.2	Tempo Máximo de Postergação Considerando a Variabilidade Diária dos Jornais	106
8.6.3	Tempo Máximo de Postergação Considerando Demanda Alta de Chegada	108
8.7	Análise Econômica do Modelo	109
8.7.1	Análise de Preço Sombra (<i>Shadow Price</i>).....	109
8.7.2	Análise de Sensibilidade - Análise de Alteração da Solução Ótima (<i>Lower and Upper Bound Analysis</i>).....	112
9	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	115
9.1	Considerações Finais	115
9.2	Considerações para Trabalhos Futuros.....	120
10	REFERÊNCIAS	121
11	APÊNDICE 1 – RESUMO DA ANÁLISE DO TEMPO MÁXIMO DE POSTERGAÇÃO PARA DEMANDA DE CHEGADA IGUAL A 150 PRODUTOS POR DIA.....	129

1 INTRODUÇÃO

A logística é importante na economia moderna, representando 8 a 14% do PIB dos países industrializados, e 30 a 40% do custo total dos produtos (Hara, 2011, Ben-Akiva et al., 2013). O transporte, a manutenção de estoques e o processamento de pedidos são as três atividades primárias para atingimento dos objetivos logísticos de custo e de nível de serviço. Neste contexto, o transporte é a atividade logística mais importante, pois absorve de um a dois terços dos custos logísticos totais (Ballou, 2006). A sobrevivência dos fabricantes e prestadores de serviço no mercado competitivo de hoje depende muito da coordenação das tarefas de fabricação e distribuição, além de quão bem cada um são executados (Azadian et al., 2015).

No Brasil, à medida que serviços de transporte mais baratos vão sendo ofertados, a estrutura econômica vai se assemelhando às economias desenvolvidas com forte terceirização de serviços. Dessa forma, melhores sistemas de transporte colaboram para incremento da competição no mercado global, para garantias das escalas de produção e para a redução dos preços das mercadorias. O crescimento da computação, comunicação e tecnologia, juntamente com mudanças organizacionais e de mercado, tem exigido novas formas operacionais de produção e logística integrada (Novaes et al., 2011).

Segundo CNT (2010), a infraestrutura de transporte brasileira e a gestão dos serviços não operam de forma eficiente, causando forte desequilíbrio na matriz de transporte/logística. Segundo Intelog (2015), os custos de logística no Brasil em 2015 atingiram 11,2% do PIB (R\$ 635 bilhões). Por sua vez, nos Estados Unidos, os custos de logística representaram somente 8,7% do PIB, mostrando que a ainda deve-se melhorar bastante o desempenho.

No Brasil, o principal meio de transporte de cargas é o rodoviário, responsável por 7,5% do PIB (Valente et al., 2008). O transporte rodoviário de cargas busca mais eficiência e melhoria no nível de serviço oferecido, por meio da implantação de novas tecnologias, gestão e procedimentos (Valente et al., 2008). Neste momento encontra-se em elevada ascensão no país a logística de cargas expressas ou rápidas (e-commerce) (crescimento de 15% a 20% ao ano (Valor Econômico, 2015)).

Segundo E-commerceBrasil (2015), em 1979 Michael Aldrich criou o primeiro sistema capaz de processar transações online entre consumidores e empresas. Somente em 1990 com a popularização da Web e o primeiro protótipo do navegador o comércio eletrônico começou a operar com características atuais. No Brasil, o comércio eletrônico iniciou em 1995. As empresas pioneiras nas vendas online foram Livraria Cultura, Grupo Pão de Açúcar, Lojas Americanas e Submarino (empresa). Esta história recente do e-commerce gerou curiosidade e farta bibliografia nas áreas estratégicas e de negócio, contudo restritos estudos sobre sua estrutura logística de distribuição.

A logística aplicada ao e-commerce e variações mencionadas em estudos referentes a e-commerce delivery, urban ou city logistics, third part logistics (3PL), in e-commerce, business-to-consumer (B2C) (Govindan et al., 2012) vem crescendo devido à restrição de mobilidade das grandes cidades e, principalmente, pelo aumento das transações on-line ou do comércio eletrônico (Taniguchi et al., 2012). Este crescimento é fomentado pelo maior acesso da população à computação, inclusive a de baixa renda.

A logística de e-commerce tem trazido maior conveniência e melhores preços para os consumidores (Teo et al., 2012; Ying & Dayong, 2005). Permite melhor ligação entre produtores e consumidores, servindo como estratégia que transpassa as vendas tradicionais, não necessariamente reduzindo suas vendas (Teo et al., 2012) e contribui para o desenvolvimento regional, ligando mercados de regiões geograficamente distantes e até remotas (Billaney, 2012). Ela também permite que médias e pequenas empresas utilizem um serviço terceirizado de alta performance e rapidez nas entregas, o que não conseguiriam fazer por conta própria (Oxford Economic Forecasting, 2005).

Por outro lado, a indústria de jornais está enfrentando novos e difíceis desafios com a intensa competição da internet em diferentes áreas, afetando sua distribuição e rendimentos com publicidade (Russel et al., 2008). Segundo ANJ (2015) a impressão e distribuição de jornais remonta ao Império Romano (59 anos antes de Cristo), criado pelo Imperador Júlio César denominado de Acta Diurna em grandes placas expostas em locais públicos. A prensa, criada por Johann Gutenberg em 1447, inaugurou a era do jornal moderno. A história dos jornais no Brasil remonta a 1537 quando o rei D. João III inaugura a legislação de imprensa em Portugal e suas colônias concedendo ao cego

Baltazar Dias a exclusividade da impressão de suas obras sujeitas à censura religiosa. Na primeira metade do século XVII, os jornais iniciaram a surgir como publicações periódicas distribuídas nas cidades do mundo. Apesar da história antiga e disseminação no Brasil e no mundo, são poucos os estudos bibliográficos que tratam da logística de distribuição de jornais.

Como a logística de jornais transporta um produto altamente perecível e, portanto com elevados custos de distribuição, busca-se a redução de custos operacionais e o aumento dos rendimentos de marketing. Além dos gastos com recursos humanos e com materiais de produção dos periódicos, o dispêndio com a distribuição diária é vital no negócio de jornais (Russel et al., 2008). Um dos grandes problemas a ser enfrentado é o uso da capacidade ociosa dos caminhões que distribuem os jornais.

1.1 JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DO TEMA

Considerando: a importância da logística para o crescimento da economia do país; a redução da venda de jornais impressos em todo o mundo; a necessidade de otimização dos recursos de transporte e distribuição, principalmente o uso da capacidade ociosa dos caminhões de jornais e de produtos perecíveis; a ampliação do comércio eletrônico alavancado pelo maior uso da internet, onde a previsão de vendas on-line no Brasil atingiram US\$ 19,79 bilhões em 2015 com alta de 17,3% sobre 2014 (Valor Econômico, 2015); a dificuldade de mobilidade nas grandes cidades, e; o pequeno número de trabalhos na bibliografia que tratam da alocação de cargas e veículos em problemas multiperíodo. Este trabalho tem como tema a distribuição compartilhada de jornais e produtos de e-commerce. Os ganhos obtidos por este estudo podem ser expandidos para outras áreas da logística representando ganhos de lucratividade e produtividade da ordem de dois dígitos percentuais.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são divididos a seguir em objetivos principal e secundários:

1.2.1 Objetivo Principal

Elaborar um modelo de apoio à decisão para o planejamento da distribuição física compartilhada de jornais e produtos de e-commerce.

1.2.2 Objetivos Secundários

- 1) Descrever a distribuição física de jornais e produtos de e-commerce, sua operação e análise de custos;
- 2) Entender o problema de alocação conjunta da carga de jornais e e-commerce nos veículos e a ociosidade da frota;
- 3) Conceber modelo matemático de alocação de cargas conjunta de jornais e e-commerce através de ferramenta computacional;
- 4) Analisar cenários de decisão, considerando questões como:
 - a) Quais entregas realizar, quais clientes atender e por qual preço?
 - b) Qual o nível de serviço desejado, os melhores prazos finais e contratuais de entrega?
 - c) Qual a influência da demanda diária ou da quantidade de produtos entregues na lucratividade?
 - d) Qual o impacto financeiro devido à penalização de receita por postergar ou atrasar um carregamento?
 - e) Qual o efeito financeiro de usar frota extra, composta por veículos de tamanhos e preços específicos?
 - f) Qual o efeito financeiro de sofrer multas pela desistência de transportar algum produto?

1.3 CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS DO ESTUDO

Esta tese possui algumas características que contribuem para a evolução científica e inovação do setor de transportes e logística que são:

- aborda distribuição compartilhada de jornais e produtos de e-commerce, pouco tratada na literatura;
- trata da alocação de cargas, enfoque menos frequente na literatura sobre logística;
- possibilita redução de ociosidade da logística de jornais e otimização de custos da logística de e-commerce;
- propõe modelo com variado mix de produtos, este pode ser replicado para outros ramos da logística de cargas;
- desenvolve análise sob o ponto de vista do operador logístico, enfoque carente na literatura;

- permite analisar a postergação de carregamentos (análise multiperíodo);
- fornece suporte à decisão no planejamento em nível operacional (alocação de cargas e veículos diários, postergação de carregamentos e seleção de veículos), em nível tático (escolha de clientes, produtos e frotas) e em nível estratégico (elaboração de contratos, prazos de entrega, configuração da rede e escolha de parceiros).

1.4 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Conforme Andrade (2001) e Cervo et al., (2007), quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa com duas classificações: exploratória e explicativa. Exploratória, pois objetiva familiarizar-se com um problema ainda pouco conhecido, buscando estudar padrões, ideias e hipóteses, avaliando teorias e conceitos existentes ou a necessidade de desenvolvimento de novas teorias. Explicativa por que aprofunda o conhecimento da realidade, estudando o motivo das coisas através de experimentação e controle de variáveis, explicando suas relações de causa. Em relação aos procedimentos da pesquisa, ou a maneira como se obtêm os dados, trata-se de uma pesquisa bibliográfica secundária (leitura de livros e artigos) e documental (análise de documentos originais); e pesquisa descritiva (observação da realidade), análise e correlação de fatos. Quanto ao objeto de pesquisa trata-se de uma pesquisa de laboratório, onde é possível produzir e reproduzir análises em condição controlada, selecionar técnicas, controlar a relação de variáveis e obter resultados.

1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Os estudos sobre distribuição de jornais e e-commerce isoladamente são raros na literatura, principalmente quando se trata de sua distribuição compartilhada. Portanto, este estudo terá como base o funcionamento e análise moderna da distribuição física conjunta de jornais e e-commerce. Devido a longa história e abrangência do assunto, de forma a contribuir consistentemente para o entendimento da problemática atual, este trabalho focará na modelagem multiperíodo de parte do processo logístico (transporte Pré-CD), não abrangendo demais etapas de transporte interestadual, Pós-CD e Distribuição Final que serão também descritas com menos detalhe. O processamento dos

dados foi realizado com uso do algoritmo Branch and Bound, podendo ocorrer diferenças de resultados em relação a outros algoritmos de resolução.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo será dividido em nove capítulos. O primeiro capítulo consiste desta introdução, abrangendo os objetivos principal e secundários, contribuições científicas, classificação da pesquisa e delimitações. O segundo capítulo trata do referencial teórico sobre logística, processos logísticos, planejamento logístico, nível de serviço, tecnologia, terceirizações e contratos, custos logísticos, e a distribuição física de jornais e produtos de e-commerce. O terceiro capítulo faz um relacionamento entre a logística compartilhada de jornais e e-commerce com o transporte aéreo, em seguida fala-se das características dos jornais e de produtos perecíveis. O Capítulo 4 abrange os sistemas de apoio à decisão, os elementos do processo de tomada de decisão, suas características, áreas de pesquisa, e seus métodos vinculados.

O capítulo 5 trata da modelagem de problemas logísticos, suas etapas, seus tipos, modelos de simulação e otimização/heurísticas, estudos sobre carregamento de cargas aéreas e carregamento multiperíodo, e a programação linear. O sexto capítulo elabora a metodologia desta tese, mostrando as etapas desenvolvidas na pesquisa, e descreve o funcionamento da distribuição física compartilhada de jornais e e-commerce, seu comportamento operacional e financeiro. O capítulo 7 desenvolve-se a formulação matemática, abrangendo a rede completa de distribuição física, e a montagem do modelo de apoio à decisão da distribuição física teórica com caráter multiperíodo. O capítulo 8 mostra os resultados e cenários obtidos com a modelagem e suas contribuições respectivas. Por fim, o capítulo final trata das conclusões e considerações finais da tese.

2 LOGÍSTICA

De acordo com Bowersox *et al.* (2009), a desregulamentação da política de transportes americana na década de 80 provocou o livre mercado de transporte, em seguida estendido mundialmente. Esse fato iniciou uma mudança radical no setor de serviços logísticos, passando-se da contratação de uma única função para a contratação multifuncional. Neste cenário, apareceram os chamados PLS ou provedores de serviços logísticos terceirizados com serviços personalizados às exigências dos clientes, operando equipamentos de transporte, instalações de armazéns e sistemas de informações que interligassem essas complexas etapas.

Na América Latina, na última década, cresceu rapidamente a demanda por serviços terceirizados de encomendas, apesar de estes serem restritos a alguns produtos, tais como livros, computadores, eletro-eletrônicos, correspondências, jornais/revistas e alimentos (Fuerth, 2007). Normalmente, são realizados por empresas de entrega rápida, couriers e transportadoras de carga fracionada que utilizam basicamente os modos de transporte rodoviário e aéreo para a realização das atividades.

Atualmente, com a grande concorrência no setor de logística terceirizada, estão surgindo novas formas de contratos. Segundo Cui *et al.* (2012), um novo conceito de terceirização seria: "relações entre interfaces da cadeia de suprimentos e terceiros, onde são oferecidos serviços desde o mais básico até o customizado, em curtas e longas parcerias, com o objetivo de obter maior eficiência e eficácia". Trata-se da migração do antigo sistema de outorga total da atividade para um sistema de parceria e confiança no qual as atividades, as informações e os riscos são divididos entre contratantes e contratados. Essa relação de confiança envolve valores tais como reputação dos parceiros, compartilhamento de informações, lealdade e tempo de relacionamento (Tian *et al.*, 2008).

Nesse mercado, a atual tendência dos clientes é esperar sempre por novos patamares de serviços de entregas expressas (Finamore *et al.*, 2007). Meng *et al.* (2011) comentam a atual necessidade de melhoria da qualidade do serviço de logística expressa, assim como a conseqüente insatisfação dos clientes. Identificam-se atributos importantes a serem fomentados, tais como: confiabilidade; frequência do serviço;

serviço de suporte de call center; garantia da mercadoria; informação/rastreamento das entregas; qualidade das embalagens; empatia dos funcionários, e; agilidade e rapidez na entrega.

Segundo Oxford Economic Forecasting (2005), a logística expressa permite que empresas pequenas e médias utilizem alta performance e rapidez nas entregas, fato que não conseguiriam fazer por conta própria, possibilitando com que participem de mercados globalizados. A logística expressa contribui para o desenvolvimento regional, ligando mercados de regiões geograficamente distantes e até remotas, apresentando um positivo crescimento de 8% a 10% ao ano.

A Figura 1 mostra a função de tomada de decisão a ser usada nesta tese, adaptada do livro de Kobayashi (2000). As perguntas principais a serem respondidas pelo modelo de apoio à decisão a ser desenvolvido são: 1) Qual transporte realizar? Vinculada a inclusão de veículo extra ou não, a qual transportador terceirizado usar, e ao custo de transporte; 2) Postergar o transporte? Considerando a capacidade disponível, deve-se postergar o carregamento estocando-o? Dessa forma, evita-se a colocação de veículos extras no mesmo dia; 3) Quais entregas realizar? Quais os clientes atender, por qual valor cobrado?; 4) Qual nível de serviço realizar? Fatores ligados às especificações contratuais, ao tempo/prazo de realização das entregas, à confiabilidade, etc.

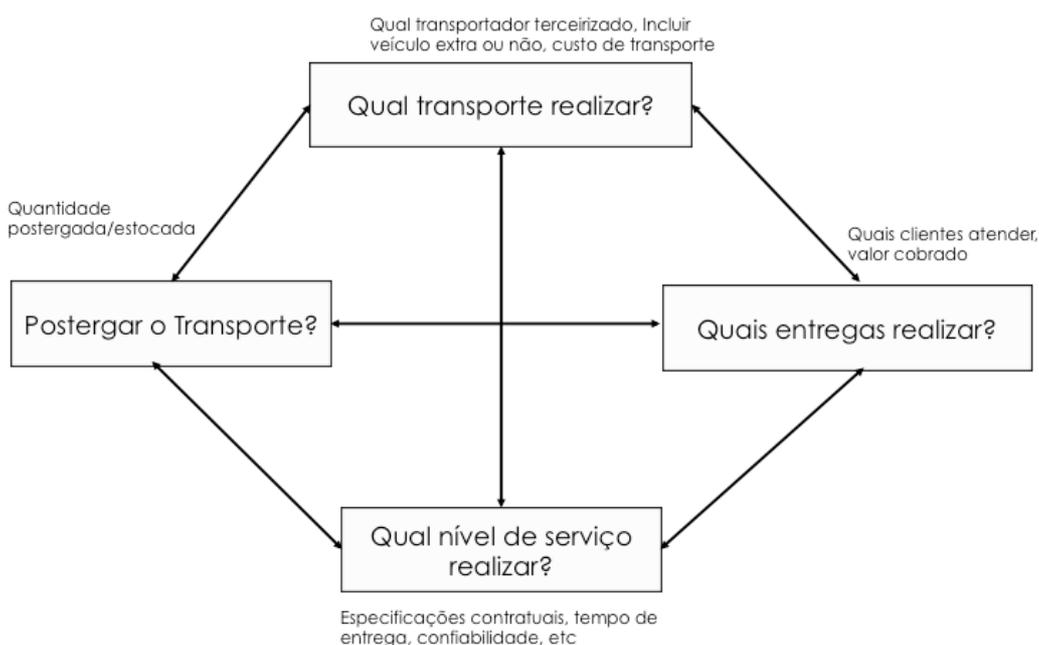


Figura 1: Função de Distribuição desta Tese (baseado em Kobayashi, 2000).

Já a Figura 2 mostra a relação dos diversos aspectos constituintes da logística de cargas expressas (jornais, e-commerce, correios, alimentos, etc). Os jornais (produtos perecíveis) e produtos de e-commerce são distribuídos pelo operador logístico até os clientes finais. Os clientes possuem expectativas ou requisitos de qualidade demandada em relação ao serviço. Portanto, de acordo com essas expectativas, planeja-se a operação, atendendo-se a um determinado nível de serviço, arcando-se com seus custos respectivos.

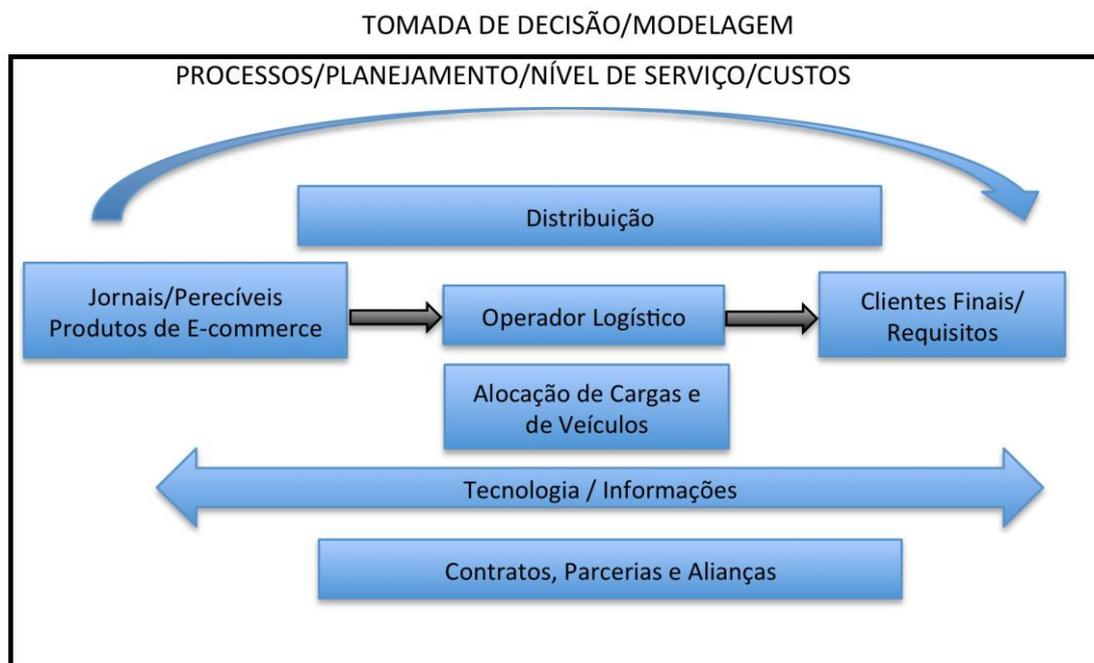


Figura 2: Aspectos importantes da logística expressa (Elaborado pelo Autor).

Neste processo de distribuição, a alocação de cargas e veículos/transporte é um item chave, envolvendo a necessidade constante de informações de demanda e tecnologias de controle, assim como a existência de bons contratos e parcerias entre as partes que executam o serviço. Portanto, este trabalho trata da tomada de decisão sobre estes diversos aspectos, fazendo uso de modelagem através de programação linear inteira. É importante ressaltar que será tratada uma parte da distribuição física (transporte Pré-CD), podendo o mesmo princípio ser replicado tal e qual para o transporte final até os clientes na ponta do processo. Questões ligadas aos processos logísticos e ao planejamento logístico também são vitais para um melhor entendimento e

Contudo, as operações logísticas possuem ações fortemente centradas no fator humano e demonstram alto grau de flexibilidade e complexidade, resultando em uma série de incertezas com considerável número de partes interessadas envolvidas. Portanto, processos logísticos flexíveis são necessários em um mercado cada vez mais dinâmico. A flexibilidade é vista como um dos principais fatores de impacto positivo direto sobre a competência e capacidade devido às incertezas no ambiente. Por exemplo, um carregamento pode mudar seu destino por causa de mudanças nas condições de tempo, mesmo após o agendamento (Wang et al, 2014).

Outra questão importante é como encontrar relações significativas entre as características do produto e do processo na cadeia de suprimentos. Uma empresa deve conseguir mudar instantaneamente o processo da cadeia de abastecimento existente em resposta a novas fases competitivas. Uma questão relevante é como a empresa pode fazer esse ajuste o mais rápido possível de forma a sustentar a competitividade existente ao longo do tempo (Morita et al., 2015). Souza et al. (2015) afirmam que o gerenciamento de processos da cadeia de produção está relacionado com o nível de integração dependendo de oito fatores: otimização de recursos, sincronização estratégica, colaboração interna, colaboração externa, aprendizagem contínua, tecnologia, desempenho e integração de processos.

Segundo Manzari et al., (2011), a integração de processos da cadeia de suprimentos envolve: integração de atividades das empresas, e; integração dos sistemas das empresas. A literatura não faz distinção entre as duas, porém acredita-se que a diferenciação é crucial, pois elas não são exatamente a mesma coisa. É possível que duas empresas integrem seus sistemas sem integrar atividades como planejamento e colaboração. No entanto o planejamento conjunto, a colaboração e integração de atividades, é um passo além da mera integração de sistemas, pois envolve informações de propriedade das empresas. A integração de processos da cadeia de abastecimento inclui duas dimensões: integração de atividades e compartilhamento de informações (Manzari et al., 2011).

O gerenciamento de processos logísticos de uma rede de abastecimento exige que os gerentes (Romano, 2003): i) conheçam as variáveis de gestão que devem ser controladas, determinando como os processos de negócios podem ser projetados e gerenciados com sucesso em toda a rede de abastecimento; ii) entendam como os principais mecanismos de gerenciamento da cadeia interagem com as variáveis gerenciais e contribuem para o impacto concreto nos processos da rede.

Esta tese estudará o processo logístico de distribuição que será modelado matematicamente, servindo de base para análise numérica de diversos cenários. Após essa análise sobre os processos logísticos é importante a discussão sobre o planejamento logístico, a ser tratado a seguir.

2.2 PLANEJAMENTO LOGÍSTICO

As operações de produção e logística são fundamentais para o sucesso de cadeias de fornecimento na maioria das indústrias de manufatura. A sobrevivência dos fabricantes no mercado competitivo de hoje depende muito da coordenação da fabricação e da distribuição, além de quão bem cada um são executados. Uma melhor utilização de ativos permite reduzir seus custos marginais e, portanto, tornar-se mais competitivo, ao mesmo tempo melhores opções de transporte diminuem os prazos de entrega e custos vinculados. Portanto, planejar a integração da produção e sua logística objetiva manter um bom nível de serviço ao cliente a um custo mínimo, obtendo novos patamares de negócio (Azadian et al., 2015).

A logística compreende planejamento, aplicação, coordenação e supervisão do fluxo de materiais para destinos, desde origens e dentro dos depósitos. Várias cadeias de abastecimento paralelas e independentes se cruzam localmente e interagem entre si. Um bom nível de planejamento e coordenação é um desafio complicado, porque as empresas estão apenas interessadas em seus próprios problemas (Voigtmann and Weimar, 2010).

Decisões estratégicas envolvidas na concepção de uma rede de distribuição logística são complexas porque envolvem compromissos significativos de recursos ao longo de vários anos. O objetivo do planejamento logístico, dado os níveis de serviço ao

cliente, é a de minimização dos custos relacionados associados com fluxo e armazenamento de produtos. Busca-se identificar o número ideal e a localização das instalações de distribuição, bem como a distribuição mais eficiente para cada tipo de pedido dos clientes (Moynihan et al., 1995).

Neste sentido, a terceirização representa uma tendência importante, não só no segmento industrial, mas também em outros setores do mundo corporativo. A fim de reduzir a lacuna entre o custo de produção e o planejamento de processos, as empresas estão se concentrando agora na utilização de novas práticas logísticas para aumentar sua margem de lucro (Kumar et al., 2013).

Decidir entre as várias alternativas de mix de marketing disponíveis para os gestores envolve conhecimento sofisticado. Por exemplo, qual a alternativa oferece o maior retorno financeiro para a empresa? Estender os prazos ou alterar quantidades mínimas de encomenda? Como pode o impacto financeiro de mudanças nas políticas e programas de distribuição ser comparado com revisões propostas em outros componentes do mix de marketing (ou seja, preço, produto e promoção)? (Moynihan et al., 1995).

No transporte de cargas expressas, as decisões estratégicas baseiam-se: no projeto da rede de atendimento; na localização de instalações; na aquisição de recursos produtivos (veículos e equipamentos) ou sua terceirização; na definição geral do nível de serviço a ser prestado (prazos de entrega); nos aspectos contratuais, e; no estabelecimento de políticas tarifárias (Araújo, 2010). As decisões no nível tático relacionam-se com: a escolha de rotas; o tipo de serviço a ser operado; a definição do sistema operacional das instalações, e a alocação dos recursos. No nível operacional, as tarefas compreendem a roteirização e programação de veículos e tripulações, a configuração dos carregamentos e a execução dos planos de manutenção.

Assim, o nível de decisão pode ser dividido em três níveis quanto às escalas de tempo e espaço de planejamento (Conde, 2013; Reis and Leal, 2015) (Figura 4):

- Curto Prazo: questões operacionais de abrangência local (ex. carregamentos diários, postergação de carregamentos e seleção de veículos);

- Médio Prazo: questões táticas, de escala regional (ex. escolha de clientes, produtos, frotas);
- Longo Prazo: questões estratégicas, escala nacional e global (ex. elaboração de contratos, prazos de entrega, configuração da rede e escolha de parceiros).

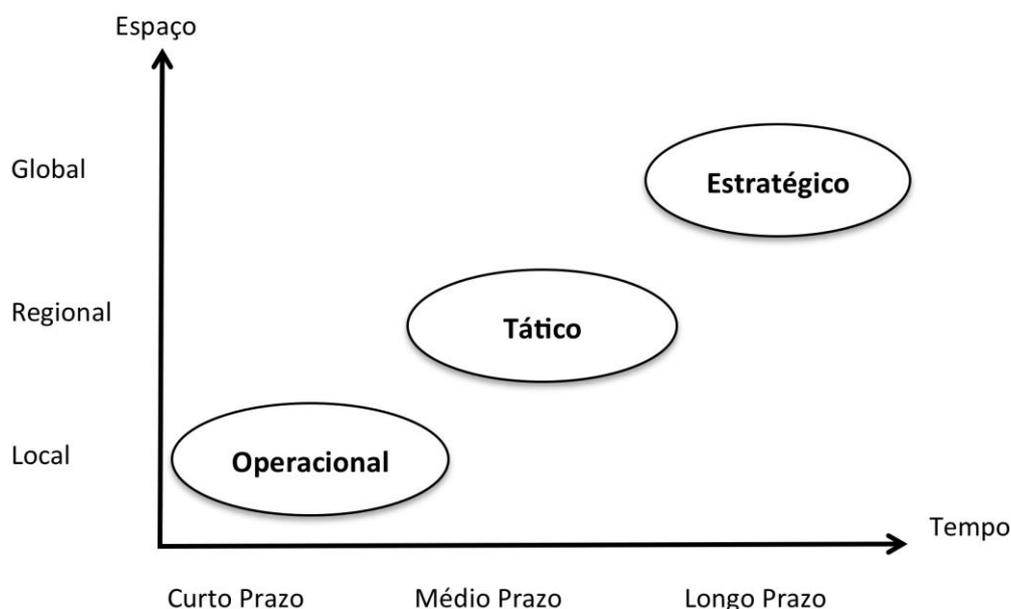


Figura 4: Três níveis de decisão (adaptado de Conde, 2013).

O modelo proposto por esta tese auxiliará no planejamento operacional, tático e estratégico do setor, podendo guiar nesta difícil tomada de decisão. Considerando a grande relação entre planejamento logístico e nível de serviço ao cliente, a seguir será descrita a teoria relacionada a estes padrões de serviço.

2.3 NÍVEL DE SERVIÇO

É possível constatar que o nível de serviço logístico está associado à habilidade de entregar o produto ao cliente de acordo com suas expectativas, onde diferentes clientes possuem expectativas distintas para cada requisito do serviço prestado. O nível de serviço ao cliente tem como principal função fornecer utilidade de tempo e de lugar na transferência de mercadorias e serviços entre compradores e vendedores (Christopher, 1997), ou seja, entregar quando e onde o cliente deseja. Não existe qualquer valor no

produto ou serviço se o mesmo não está em posse do cliente. Portanto, é ponto chave o relacionamento na interface do comprador e do vendedor.

Segundo Christopher (1999), é essencial no meio comercial a ideia de que o serviço ao cliente é o ponto central para sua conquista e fidelização. Os clientes exigem níveis de desempenho mais elevados dos fornecedores (maior rapidez, maior confiabilidade, informações atualizadas, localização, etc). O atual enfoque ligado à compras menores e frequentes e à redução de estoques foca bastante na qualidade dessas entregas, reduzindo a tolerância para a espera. O desafio é conhecer as exigências dos clientes e reestruturar seus processos de logística no sentido de atendê-los com plenitude.

O nível de serviço logístico pode ser definido também como o grau de qualidade pelo qual o fluxo de mercadorias é gerenciado (Ballou, 2011; Caramia & Dell'Olmo, 2008). Existem diversas formas de se avaliar o nível de serviço, tais como o tempo de entrega, a disponibilidade de estoque, o percentual de entregas realizadas, lote mínimo de compra, etc. Essas formas de avaliação podem ser classificadas de acordo com a transação do produto (Figura 5).

Segundo Christopher (1997), o serviço ao cliente pode ser examinado sobre três títulos: elementos da pré-transação; elementos da transação e elementos da pós-transação. Os elementos da pré-transação têm relação com as políticas, contratos, adequação de sua estrutura organizacional e sistemas informatizados/tecnologias. Os elementos da transação estão ligados à distribuição, estoque e confiabilidade da entrega. Os elementos da pós-transação consistem do momento de recebimento e uso dos produtos, como peças e serviços de assistência técnica.

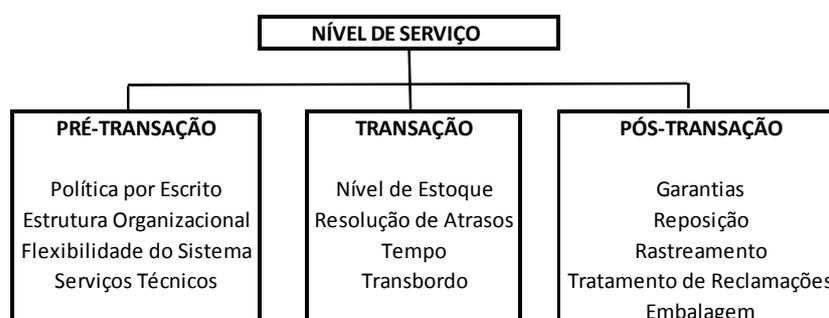


Figura 5: Nível de serviço (Ballou, 2011).

No caso desta tese, os pontos chaves a serem destacados em relação ao nível de serviço são: i) na pré-transação - a política por escrito abrange o contrato de transporte (prazos de entrega e obrigações) envolvendo terceirizações e parcerias; ii) na transação – a resolução de atrasos está relacionada com o cumprimento dos prazos contratuais, e o tempo/rapidez das entregas com ou sem postergações de carregamentos; iii) na pós-transação – o rastreamento refere-se ao conhecimento por parte do cliente final do estágio em que encontra-se o transporte e ao momento que receberá sua encomenda.

O modelo proposto por esta tese ajuda na definição do nível de serviço a ser prestado para os clientes (prazos, postergações, tipo de entrega, etc). Este nível de serviço entregue possui relação direta com as informações/tecnologias disponíveis e oferecidas aos clientes e com os custos dispendidos, esses aspectos serão descritos a seguir e são importantes de serem entendidos para formulação do modelo proposto nesta tese.

2.4 TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO APLICADA

A informação é vital para o bom desempenho das cadeias de suprimentos, pois é através dela que se estruturam as decisões (Chopra e Meindl, 2003). Segundo Laudon & Laudon (2007) e Turban *et al.* (2007) existem diversos tipos de sistemas de informações considerando sua perspectiva funcional, são eles: sistemas de vendas e marketing; sistemas de manufatura e produção; sistemas financeiros e contábeis; e sistemas de recursos humanos.

Os sistemas de vendas e marketing são usados com a finalidade de venda de produtos e serviços, determinação das necessidades dos clientes, planejamento e desenvolvimento de produtos, propaganda e promoções. Os sistemas de manufatura e produção são responsáveis pelo processo produtivo de bens e serviços, abrangendo planejamento, desenvolvimento e manutenção de instalações, estabelecimento de metas de produção, aquisição, armazenagem, disponibilidade de materiais, programação de equipamentos, instalações, matérias-primas e trabalho necessário. Os sistemas financeiros ou contábeis abrangem a gestão dos ativos da empresa, aplicações, gerenciamento de registros financeiros (pagamentos e recebimentos), controle de fluxo de caixa, e metas financeiras. O sistema de recursos humanos busca atrair, aperfeiçoar e

manter a força de trabalho, identificar funcionários potenciais, registros completos de funcionários existentes e desenvolvimento de talentos. A Figura 6 mostra os diferentes tipos de sistemas de informação.

Tipo de Sistema	Sistema	Descrição	Grupos Atendidos
Vendas e Marketing	Processamento de Pedidos	Registra, processa e acompanha pedidos	Gerência Operacional e Funcionários
	Análise de Preços	Determina preços para produtos e serviços	Gerência Média
	Previsão de Vendas	Prepara previsões de vendas	Gerência Sênior
Manufatura e Produção	Controle de Maquinário	Controla os movimentos das máquinas e equipamentos	Gerência Operacional
	Planejamento da Produção	Decide quando e quanto os produtos são produzidos	Gerência Média
	Localização de Instalações	Decide onde montar as instalações	Gerência Sênior
Financeiros e Contábeis	Contas a receber	Relaciona as contas a receber	Gerência Operacional
	Orçamento	Prepara orçamentos de curto prazo	Gerência Média
	Planejamento de Lucros	Planeja lucros de longo prazo	Gerência Sênior
Recursos Humanos	Treinamento e Desenvolvimento	Acompanha a capacitação, habilidades e avaliações de desempenho	Gerência Operacional
	Análise de Remuneração	Monitora a distribuição de comissões, salários e benefícios	Gerência Média
	Planejamento de Recursos Humanos	Planeja a necessidade de recursos humanos	Gerência Sênior

Figura 6: Tipos de Sistema de Informação (Laudon, 2007).

A tecnologia da informação é composta de ferramentas que dão acesso às informações e suas análises. Essas informações são divididas da seguinte forma: 1)

informações do fornecedor: produtos e serviços passíveis de serem contratados ou comprados, a que preço e prazo, possíveis locais de entrega, situação do pedido, e modo de pagamento; 2) informações de fabricação: quais produtos podem ser fabricados e suas quantidades, onde, em que prazo, a que custo e tamanhos de lotes; 3) informações de distribuição e varejo: o que deve ser transportado de cada local, em que quantidade e modo, em que preço e se deve ou não ser armazenado; 4) informações de demanda: quem está comprando o que, por qual preço, onde e que quantidade, previsões e distribuição de demanda (Chopra e Meindl, 2003).

A aplicação de tecnologia da Informação (TI) nas empresas de logística tem gerado ganho de qualidade, desempenho e disponibilidade de recursos (Caxito, 2011), principalmente na logística de cargas expressas com operações terceirizadas em que o fluxo de informações é muito dinâmico. A tecnologia permite que as empresas melhorem e atendam sua demanda com maior eficiência e eficácia. O modelo a ser desenvolvido nesta tese depende diretamente da tecnologia da informação para recebimento correto de informações de entrada, e vice-versa entregando informações processadas de carregamento, prazos de chegada, frotas, etc.

A transformação tecnológica é um dos principais propulsores da concorrência, das terceirizações e parcerias, desempenhando papel essencial na mudança dos níveis de produtividade e nos processos de trabalho compartilhados. Um exemplo de aplicações de tecnologia de informação é o trabalho de Song et al (2002) que fizeram uso da tecnologia geográfica digital para alocação de centros de distribuição e de rotas em malha de jornais. Utilizando a tecnologia de roteirização, Marins (2011) descreve ganhos de até 15% na redução do custo de distribuição; 97% de confiabilidade das entregas, e 19% na redução de quilometragem rodada com redução da emissão de poluentes e demais impactos ambientais.

2.5 TERCEIRIZAÇÕES, CONTRATOS, PARCERIAS E ALIANÇAS

Objetivando maior rapidez, flexibilidade e especialização muitas ações estão sendo terceirizadas, no caso desta tese trata-se da terceirização de serviços de transporte, permitindo que as empresas se concentrem principalmente em suas competências originais (*core bussiness*) (Ensslin et al., 2010; Camelo et al., 2010).

Contudo, criou-se uma relação de dependência para obtenção da satisfação dos clientes. As principais perguntas são: Como escolher corretamente as empresas terceirizadas/parceiras e como oficializar esta relação (contratos)? Como avaliar o desempenho do serviço prestado pelos terceiros?

O que determina se uma empresa deve escolher uma cadeia integrada de suprimento ou descentralizada (Zhao and Shi, 2011)? No caso de descentralização, que estratégia de contratação será realizada? Como a escolha do contrato afeta as performances dos atores da cadeia no caso de descentralização? Como o grau de concorrência afeta as decisões e performances? Como o número de fornecedores oferecendo produtos complementares em cada cadeia de abastecimento afetam decisões e o desempenho?

Costa (2007) enumera diversas vantagens da terceirização: redução de investimentos em instalações, equipamentos, TI, mão de obra; transformação de custo fixo em variável; ganho de flexibilidade; acesso a inovações; aprendizado acelerado, e; redução de custos. Também são identificados alguns fatores restritivos: regulação tributária; diferenças culturais; perda de controle das atividades; dependência de fornecedores, e; perda de *know-how*.

A contratação de serviços de operadores logísticos cresce rapidamente em todo o mundo e no Brasil, principalmente para serviços integrados de transporte e armazenagem (Wanke, 2010; Nenni, 2013). São essas atividades as que diferenciam os operadores logísticos dos demais prestadores especializados, tais como transportadores e depósitos. São tarefas de gerenciamento da cadeia, seu fluxo e uso de recursos no tempo e espaço. As tarefas de maior valor adicionado são o *cross-docking*, definição de rotas, perfil de frotas e gerenciamento dos fretes de retorno. Bons critérios para seleção de contratos são: operacionais, gerenciais, compatibilidade cultural e técnica, capacitação de pessoal e posição competitiva na indústria.

A logística de jornais e e-commerce atua fortemente com a participação de operadores terceirizados, e essas novas relações de parcerias tem criado dificuldades de controle, e divergência de interesses, tornando a questão de difícil coordenação, gestão

e previsão (Matthyssens and Bulte, 1994; Gallear et al., 2012). Existem diversos formatos de contratação diferentes (frota vinculada à rota específica ou frota vinculada a mais de uma rota, distintos prazos limites de entrega, e preços diferentes de cobrança).

Grande empresas contratantes barganham preços de frete em função de seu poder econômico (Fleury et al., 1997), que é o caso das empresas de jornais. Neste caso, o compartilhamento de informações referentes ao planejamento das atividades logísticas de programação de entregas, carregamento e descarregamento nos clientes finais são mínimos ou inexistentes. Empresas que buscam alianças favoráveis e duradouras devem estruturar um relacionamento do tipo ganha-ganha e não mais através de pressões econômicas.

Segundo Christopher (1999) e Christopher and Jüttner (2000), inspiradas pelo setor automotivo, a tendência é que as empresas tenham menos fornecedores, onde contratam-se fornecedores com soluções mais completas. Ao mesmo tempo, gera-se necessidade de desenvolver estes parceiros, favorecendo empresas com capacidades, capital e habilidades abundantes. Participações menores tentem a fundir-se, ou perderão seu negócio. Muitos tornam-se terceiros de gigantes sobreviventes em redes globais. Busca-se a melhoria contínua da qualidade e da inovação, sob a percepção de que há um limite o número de relacionamentos com fornecedores que podem ser eficientemente gerenciados.

Ao mesmo tempo, as exigências e a insatisfação dos clientes estão cada vez maiores, exigindo que a atual logística terceirizada seja mais rápida e eficiente (Meng et al., 2011) e seja operada inclusive por novos formatos de contratos entre vendedores e transportadores e até mesmo por parcerias (House and Stank, 2001; Gallear et al., 2012; Tate, 1996; Ribeiro et al., 2007).

Pesquisas na gestão da cadeia de abastecimento têm desenvolvido vários tipos de contratos para melhorar o desempenho operacional (Xu et al., 2015):

- 1) Contrato de Partilha da Receita (*Revenue Sharing Contract*): É um contrato em que o fornecedor cobra um baixo preço do contratante e

compartilha uma fração da receita gerada pelo contratante. Eficaz na melhoria do desempenho na presença de risco financeiro.

2) Contrato com Penalidade de Saída (*Output Penalty Contract*): Multas contratuais têm sido extensivamente estudadas na cadeia de abastecimento tradicional, como o pagamento de multa extra por baixo desempenho ou capacidade abaixo da contratada.

3) Contrato de Partilha de Custos (*Cost Sharing Contract*): Tem se mostrado eficaz na melhoria do desempenho da cadeia com estrutura de custo complexa e restrições financeiras.

Segundo Bandeira et al. (2012), apesar do regime de remuneração ser parte importante do contrato, os contratos possuem outras funções como: detalhar necessidades do contratante; evidenciar níveis de responsabilidade e autoridade; caracterizar o regime de transferência de informações; alocar riscos do projeto; especificar incentivos e recompensas para a contratada; definir multas em função do não atendimento; e conter mecanismos de resolução de divergências.

Apesar de muitas alianças envolverem acordos formais, nem sempre é preciso o contrato, até por que este pode limitar a flexibilidade (Lewis, 1992). Mecanismos formais especificam claramente o grau de cooperação, conformidade e integração inter-empresas (Barbosa et al., 2007).

As alianças informais também são importantes formas de cooperação, consideram o histórico social e o contexto de um relacionamento, bem como o aprendizado. Os riscos dependem da eficácia com a qual as empresas irão trabalhar em grupo (Lewis, 1992).

Existem vários tipos de alianças (César, et al., 2006) (Figura 7), tendo como base os seguintes acordos:

- Contratos unilaterais – Possui como foco a obrigação de apenas uma das partes, define que apenas uma das partes tem direitos e deveres.

- Participação acionária minoritária – sócios com diferentes porcentagens de capital social.
- Joint-venture – Duas ou mais empresas criam uma terceira empresa independente, integrando partes de seus ativos com finalidades econômicas ou políticas (Oliveira et al., 2011).
- Contratos bilaterais – manifestação de duas partes, ambos os contratantes têm como foco os direitos e as obrigações de ambas as partes.

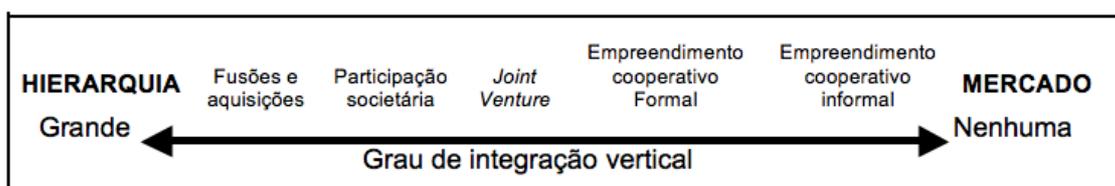


Figura 7: Alianças estratégicas em função do grau de integração (César et al., 2006).

O modelo proposto neste trabalho considera a prestação de serviços de transportes terceirizados efetuados por diversos contratos bilaterais. Após a leitura sobre os conceitos de contratos e parcerias é possível enumerar pontos importantes a serem considerados, tais como a vinculação de frotas contratadas às rotas, os prazos de entrega contratados e os preços e multas cobrados que geram impactos diretos nos custos dos contratos e por consequência na lucratividade do negócio.

2.6 CUSTOS LOGÍSTICOS

Os custos determinam a viabilidade do serviço de distribuição logística, sendo de extrema importância na composição do modelo proposto. Engblom et al., (2012) identificam transporte, armazenagem, e administração de inventário como componentes principais de custos da logística. Outros autores incluem o custo de oportunidade do capital e da armazenagem, custos de risco e os possíveis custos da perda de vendas.

Turkensteen and Klose (2012) afirmam que a dispersão geográfica tem grande influência sobre a alocação, o número de armazéns, os custos de transporte e os níveis de estoque. Dois tipos relevantes de custos de estocagem são os custos no depósito e os custos de armazenamento nos veículos. Os níveis de estoque estacionários (no depósito) dependem do número de saídas no período e da demanda. O nível de armazenamento

nos veículos depende do tempo de viagem real, relacionados com a distância e o tempo dedicado ao carregamento e descarregamento. Outros fatores que influenciam os custos são o tamanho dos veículos e a taxa de demanda nos diferentes locais.

Alaghehband et al. (2011) destaca que existem dois tipos de custos em serviços terceirizados: os custos de produção e os custos de governança. Os custos de produção são os custos de realização de um serviço ou o preço de aquisição do serviço no mercado. Custos de governança são os custos de planejamento, negociação e acompanhamento.

Conforme Figura 8, considerando-se as atividades logísticas primárias em função do número de depósitos, percebe-se que à medida que aumenta o número de depósitos, o custo de transporte diminui. Este fato ocorre porque os fretes maiores podem ser substituídos pelos menores, e a distância percorrida nas entregas entre os armazéns e clientes diminui (Ballou, 2011; Christopher, 2012). Por outro lado, os custos de estoque e processamento de pedidos possuem o comportamento oposto, eles aumentam com o crescimento dos armazéns. Para decidir o número de depósitos, o administrador deve balancear estes custos conflitantes, chegando ao menor custo para o sistema. No caso de cargas expressas, esse *trade-off* ideal entre quantidade de depósito e extensão de rotas é vital.

Pode-se pensar que, nos sistemas terceirizados, essa relação de compensação entre custos de transporte e armazenagem é menos severa para o operador logístico já que os custos são transferidos integralmente aos terceiros. Porém, nas novas formas de organização terceirizadas através de parcerias, muitas vezes o contratante assume custos diretos dos terceiros, tais como: custos de locação de imóveis; pagamentos proporcionais à quantidade de funcionários contratados dos terceiros e remuneração do transporte por km rodado.

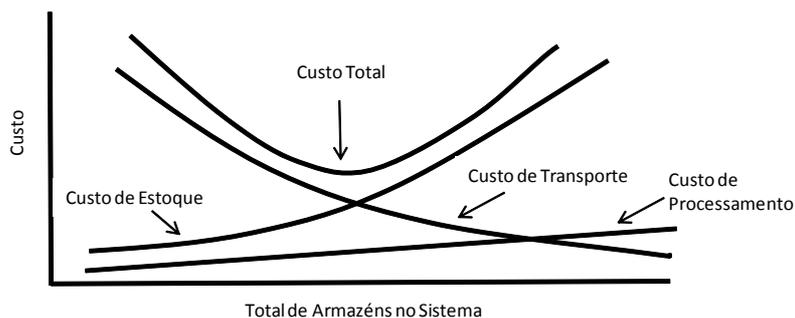


Figura 8: Custos logísticos (Ballou, 2011).

O desafio do gerenciamento do serviço é identificar a lucratividade de cada cliente e desenvolver estratégias para melhorá-la com cada um deles. Deve-se identificar que existem custos e benefícios na entrega do serviço e que seu nível de serviço deve variar de acordo com cada cliente. A relação básica entre este nível de serviço e os custos é mostrada na curva da esquerda da Figura 9. Trata-se de uma curva com inclinação, deve-se ao fato dos altos custos de manutenção de estoque adicional necessário para atender a altos níveis de serviço. Contudo, estratégias de serviço alternativas podem deslocar esta curva para a direita (Figura 9). Em um gráfico de lucratividade versus nível de serviço seria o equivalente a deslocar a curva para a esquerda.

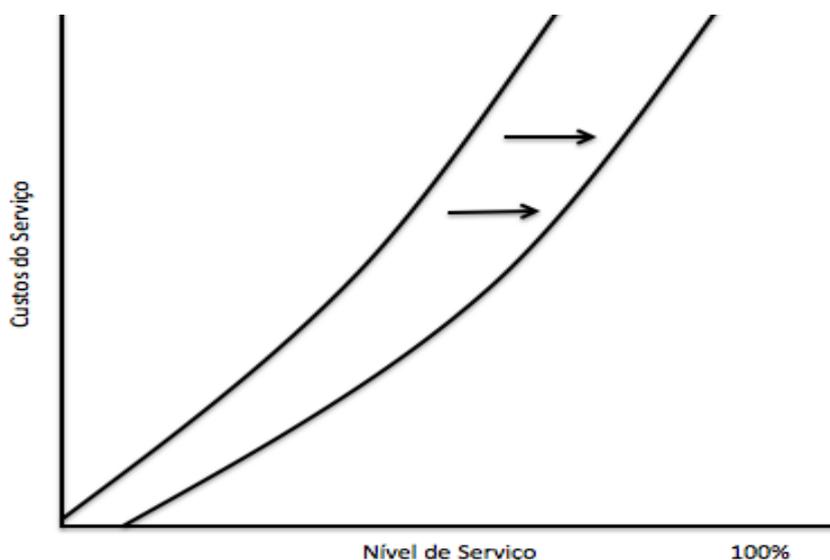


Figura 9: Deslocamento da Curva de Custos versus Nível de Serviço para Estratégias de Serviço Alternativas (Christopher, 1997).

Segundo Faria e Costa (2008) (Figura 10), considerando também os custos de oportunidade (vendas perdidas), o custo mais alto de transporte pode compensar o custo de vendas perdidas evitando atrasos. Pode-se aumentar a velocidade e confiabilidade da entrega de produtos e reduzir as falhas. O produto torna-se mais disponível para os clientes, reduzindo as devoluções. Isso mostra que existe uma faixa de custo mais baixa adequada, sendo a missão do decisor achar o nível de serviço adequado onde a mesma ocorre para cada cliente.

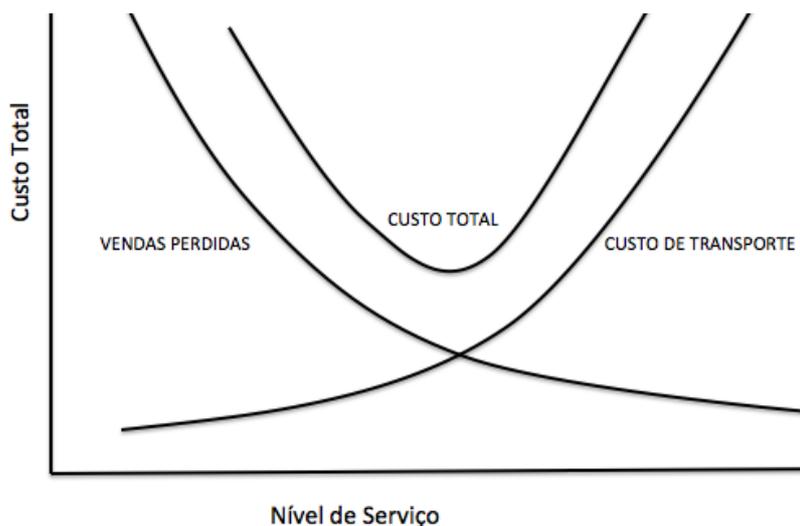


Figura 10: Nível de Serviço X Custo Total considerando oportunidades (vendas perdidas) (adaptado de Faria e Costa, 2008).

Segundo lunes (1995) (Figura 11), no início do processo de produção do serviço, os insumos variáveis possuem produtividade crescente, pois existem recursos de capital ainda subutilizados. Esse aumento de produtividade faz com que os custos variáveis subam menos rapidamente à medida que a produção cresce. Como o montante de capital disponível é fixo a curto prazo, haverá um ponto a partir do qual a produtividade destes insumos variáveis começará a diminuir. A partir deste ponto de inflexão, os custos variáveis começam a crescer rapidamente, e, portanto a lucratividade a diminuir na mesma velocidade.

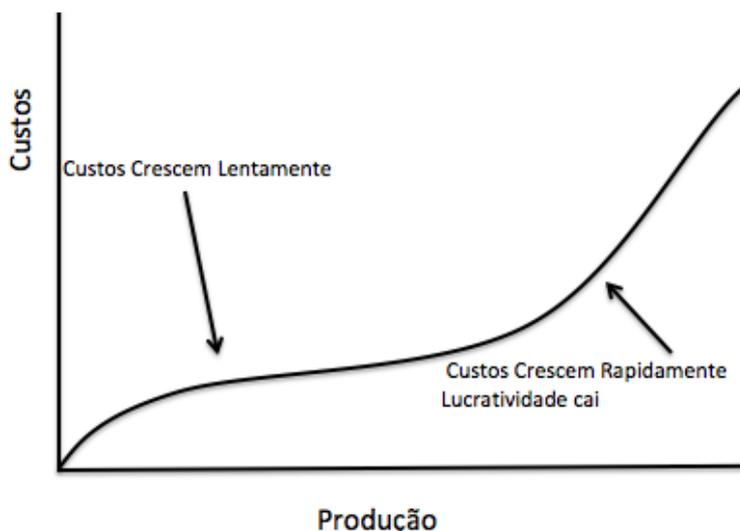


Figura 11: Custo Total versus Produção (Iunes, 1995).

Frank (1994) analisa o rendimento em função da quantidade de lotes produzidos, sob a ótica da microeconomia (Figura 12). Existe uma zona inicial de curvatura ascendente de rendimentos crescentes. A partir de certo ponto de produção os rendimentos começam a cair, neste ponto um pequeno aumento marginal de produção requer aumentos ascendentes na curva de custo, reduzindo a lucratividade. Segundo Varian (2000), esse comportamento ocorre, pois os componentes fixos de custo acabam restringindo o processo de produção à medida que suas capacidades forem alcançadas. Este conhecimento será de grande importância para compreensão e interpretação dos resultados da modelagem desta tese, momento quando se atinge a capacidade dos veículos sendo necessária a inclusão de veículos extras.

Segundo Amaral e Guerreiro (2013), a análise de *trade-offs* de custos logísticos deve ser realizada constantemente. Consistem de trocas compensatórias onde o aumento em algum custo é compensado pela redução em outro ou pelo aumento do nível de serviço oferecido. Por exemplo, automatizar processos de gerenciamento de informações com a inclusão de novas tecnologias, pode resultar em maiores custos, porém viabiliza maior eficiência na comunicação, melhora o fornecimento de informações e aperfeiçoa o serviço ofertado ao cliente.

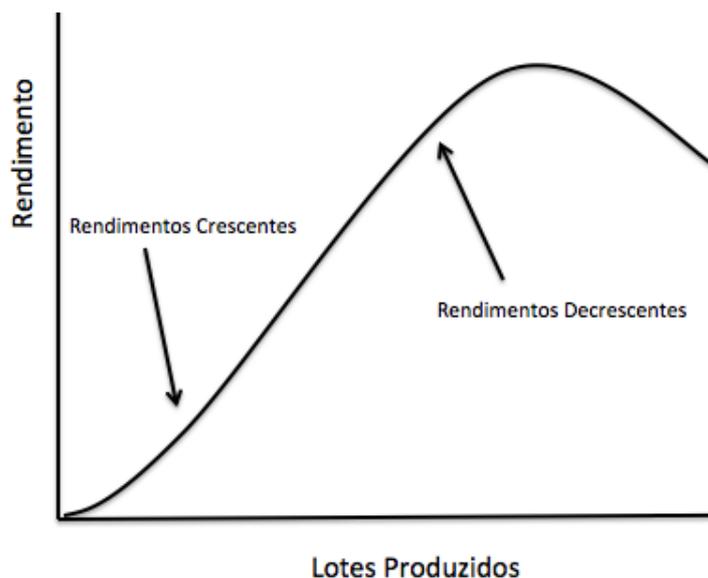


Figura 12: Rendimento X Produção (adaptado de Frank, 1994).

A compreensão sobre a teoria dos custos logísticos é de grande importância para o entendimento do comportamento financeiro da rede que será descrita a seguir e, portanto para elaboração do modelo matemático a ser desenvolvido nesta tese. A seguir será apresentada a teoria sobre distribuição logística.

2.7 DISTRIBUIÇÃO FÍSICA EM LOGÍSTICA

A distribuição logística é o ponto principal deste trabalho, envolvendo questões-chaves como o transporte, veículos e estocagem de produtos, a conformação da rede de jornais e e-commerce e seus roteiros de entrega respectivos.

Segundo Ross (2015) a distribuição é a atividade associada com o movimento de materiais (usualmente bens finais) dos produtores aos consumidores. Essa atividade envolve as funções de transporte, estocagem, controle de inventário, manuseio, administração de pedidos, análise de localização, empacotamento, processamento de dados, e comunicação para seu gerenciamento. Portanto, o papel essencial do distribuidor é facilitar o fluxo de bens entre o canal de produção e clientes finais.

Segundo Valente et al. (2008) um dos problemas típicos da operação de frotas no transporte rodoviário de cargas é o da coleta e distribuição, sendo suas características básicas:

- A região é dividida em zonas com contornos rígidos ou não, sofrendo alterações para acomodação da demanda.
- Em cada zona são alocados veículos e equipe de serviço;
- A cada veículo é designado um roteiro, com locais de parada e pontos de coleta/entrega e sua sequência de atendimento;
- O serviço deve ser realizado em um tempo de ciclo pré-determinado;
- Os veículos são despachados a partir de um depósito, onde se faz a triagem da mercadoria em função de suas zonas. No caso de existirem mais depósitos, o problema é analisado analogamente, realizando-se as divisões de demanda na área.

Conforme Chopra e Meindl (2011) os gestores devem tomar duas decisões ao projetarem uma distribuição logística: i) O produto será entregue no cliente ou coletado em local pré-determinado? ii) O produto passará por algum intermediário? O projeto da rede de distribuição afeta o desempenho da cadeia de suprimentos, estabelecendo as infraestruturas para as quais as decisões operacionais de cronograma e rotas são feitas (Chopra e Meindl, 2003). Uma rede bem planejada possibilita alcançar o grau de resposta desejado a baixo custo. A Figura 13 mostra uma variedade de opções de projetos de rede, suas vantagens e desvantagens.

Daganzo (1991) comenta que existe extensa literatura de algoritmos para dimensionamento de redes, já que cada problema apresenta suas peculiaridades e exceções. Esses algoritmos podem variar em função de:

- Quantidade de viagens e do número de paradas no trajeto;
- Custos operacionais de aquisição e alugueis/terceirizações;
- Limitações/comprimentos de viagem e de espaço de estoque;
- Diferenças nas quantidades de itens para diferentes destinos;
- Incertezas de demanda;
- Existência de janelas de tempo de entrega (produtos perecíveis).

O conhecimento sobre a teoria de distribuição logística permite classificar a distribuição de jornais e e-commerce como uma rede com CD Centralizado com Cross-

docking e entender melhor as questões relativas aos roteiros, veículos e viagens. Essa distribuição pode apresentar diversos padrões de qualidade ou níveis de serviço.

Estrutura da Rede	Vantagens	Desvantagens
Entrega Direta	Sem depósito intermediário Fácil coordenação	Grandes estoques (lotes grandes) Gastos grandes
Entrega Direta com Milk Runs (consolidação de cargas)	Redução dos custos de transporte Redução de estoques	Coordenação complexa
CD Centralizado com Armazenagem	Redução do custo de transporte	Maior custo de estoque Manuseio em CD
CD Centralizado com Cross-docking	Pequeno estoque Redução do custo de transporte	Coordenação complexa
Milk Runs (Consolidação) + CD	Pequenos lotes de transporte	Coordenação muito complexa
Rede sob medida	Transporte específico para cada produto ou loja	Coordenação extremamente complexa

Figura 13: Vantagens e desvantagens dos diversos tipos de redes (Chopra e Meindl, 2003).

Segundo Araújo (2010) a roteirização e o carregamento de veículos (acomodação dos produtos) apresentam elevado grau de interdependência, e seu tratamento individual isolado poderá conduzir a soluções inviáveis na prática. O Problema do Carregamento de Veículos - PCV é representado como um Problema de Corte e Empacotamento correspondendo, respectivamente, a carregamentos bidimensionais e tridimensionais.

Embora citado na literatura, o problema de carregamento ou alocação de cargas não é comumente encontrado no contexto dos serviços de entregas como descrito nesta tese, com exceção de escassos estudos como o de Araújo (2010), onde é estudada sua integração ao PRV-Problema de Roteirização. No escopo da logística, a literatura aborda

o problema do carregamento através de aplicações em equipamentos de unitização de cargas (pallets e contêineres). Os pallets apresentam um espaço bidimensional de carga e os contêineres o correspondente tridimensional respectivos.

No carregamento de jornais o parâmetro mais importante é o peso em detrimento ao volume, pois o jornal apresenta elevada densidade (pequeno volume e grande peso). O peso é o parâmetro registrado em nota fiscal, por isso de mais fácil controle, e conforme legislação a limitação de capacidade dos veículos também ocorre em função do limite de peso. As dimensões dos baús dos caminhões (volumes) também são variáveis, mas a capacidade em peso é constante e limitada pela regulamentação. Quanto aos produtos de e-commerce tratados neste trabalho, o parâmetro de controle também é o peso, já que são produtos de alto valor agregado e pequenos volumes.

A teoria sobre distribuição física auxilia na compreensão espacial da logística compartilhada permitindo, juntamente com os demais itens, chegar ao modelo matemático proposto por esta tese. Com este assunto conclui-se o segundo capítulo do trabalho que permitiu entender como funcionam os processos logísticos, seu planejamento, os níveis de serviço vinculados, a interdependência da tecnologia de informação, os serviços terceirizados atuais e seus contratos, os custos e comportamentos financeiros típicos, e por fim a configuração da distribuição. No próximo capítulo faz-se uma analogia entre a logística compartilhada de jornais e e-commerce com o transporte aéreo.

3 A LOGÍSTICA COMPARTILHADA

3.1 TRANSPORTE AÉREO

O transporte compartilhado de jornais e produtos de e-commerce possui relevante semelhança com o transporte de carga aérea e com o transporte de cargas por ônibus. Assim como existe uma compensação ou troca do uso da capacidade do veículo entre jornais e produtos, existe uma troca entre peso/volume de passageiros e suas bagagens nas aeronaves e nos ônibus com a carga transportada de encomendas (Figuras 14 e 15).

O transporte aéreo, por envolver questões tecnológicas mais avançadas e maiores custos operacionais apresenta maior desenvolvimento na gestão de seus recursos e em seus estudos acadêmicos. Por outro lado o setor de logística rodoviária necessita evoluir mais rapidamente, portanto tomar como parâmetro o setor aéreo é uma maneira apropriada e conveniente de aprendizado.

Na literatura existem poucas publicações sobre o transporte de carga aérea e sobre o transporte de cargas por ônibus, este último mais utilizado no mercado de transporte brasileiro. Alguns dos únicos trabalhos existentes que tratam da questão do transporte de cargas por ônibus são o de Sousa (2004), ANTP (1997) e Brasileiro et al. (1996) abordando juntamente o transporte de passageiros e sua qualidade e gerenciamento respectivos.

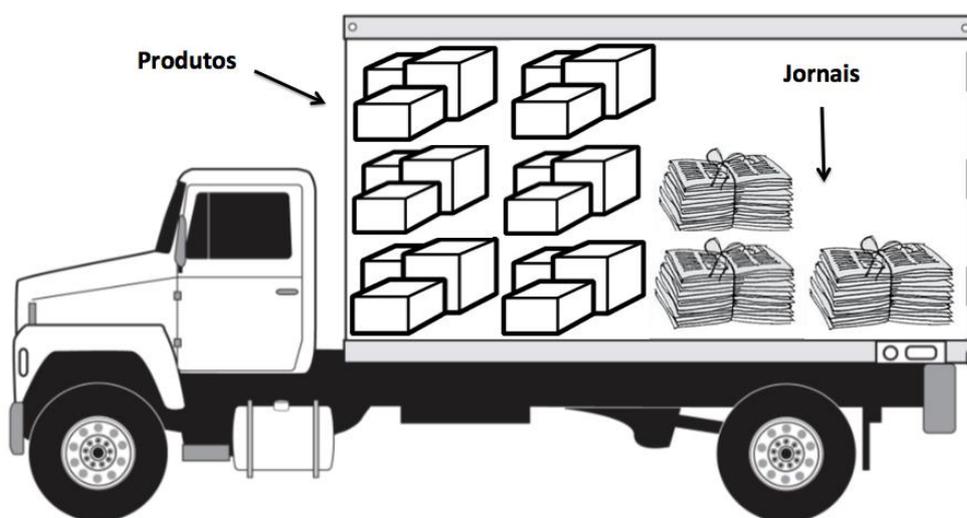


Figura 14: Aproveitamento da Capacidade na Logística de Distribuição de Jornais e E-commerce (Fonte: Elaborado pelo Autor).

O transporte de cargas aéreas movimenta aproximadamente U\$40 bilhões por ano no mundo (Luo et al., 2009). Contudo, no transporte aéreo a questão é bastante complicada, já que existe limitação de frota, grande variabilidade de carregamentos, baixas capacidades e pequena frequência de viagens.



Figura 15: Aproveitamento da Capacidade no Transporte Aéreo (Fonte: Elaborado pelo Autor).

Segundo Stranden (2013), o transporte aéreo utiliza frequentemente a economia de escala. Ao adicionarem-se passageiros extras, reduz-se a denominada unidade de custo do voo (bilhete baseado no custo marginal de transporte). Quando os fluxos de carga diferem entre os ramos, as taxas/tarifas devem refletir um distinto custo marginal e suas respectivas utilizações de capacidades. Nesta distribuição física as cargas prioritárias devem pagar valores bastante superiores, pois geram preferências na rede atrasando as demais.

Mayer and Scholz (2012) realizaram uma função estrutural de custos do transporte de carga aérea com dados do Departamento Americano de Aviação fazendo uso de regressão linear multinomial com dados das 10 principais companhias. Comentam que o tráfego de carga aérea cresceu mais de 5% ao ano de 1995 a 2007. Após a passagem da crise econômica de 2008 a previsão continua bastante otimista, esperando-se o triplo do volume da carga aérea atual daqui a 20 anos. Colocam que os preços de frete atualmente são baseados nos custos das rotas, na quantidade de carregamento das mesmas e nas informações de mercado, sendo o uso da tarifa por custo marginal um fenômeno comum.

Os custos de cargas aéreas são divididos em quatro grupos (Mayer e Scholz, 2012): 1) embarque – embalagem, manuseio; 2) Vôo – combustível, tripulação, depreciação das aeronaves; 3) Rotas – direitos de vôo, vendas regionais; 4) Administrativos – gerenciamento, marketing. No modelo de custeio existem as variáveis de depreciação, distância de viagem, fator de ocupação, taxas aeroportuárias, combustível e tripulação. Onde o combustível é considerado o fator de maior impacto, também ligado ao design/eficiência das aeronaves, sendo aproximadamente 55% do custo operacional.

Segundo Mayer and Scholz (2012), os custos de tripulação aérea também são relevantes, contudo existe falta de clareza quanto ao seu real peso no transporte de cargas, já que a tripulação está principalmente ligada ao transporte de passageiros. Constatam que a utilização de capacidade possui relação negativa com os custos, quanto maior a utilização menor o custo por tonelada transportada. Considerando a grande vida útil das aeronaves, o custo de depreciação pode ser considerado pequeno, assim como o custo de utilização aeroportuária.

Chew et al. (2006) propuseram um modelo de programação estocástica de curto prazo para o planejamento de espaço/capacidade de aeronaves. Comenta-se que o espaço de carga de longo prazo é adquirido pelos embarcadores muitos meses antes da decolagem com base em contrato, onde a demanda prevista é incerta. Num segundo momento próximo ao voo, com demanda mais precisa incluindo passageiros e bagagens, os embarcadores decidem se compram ou não espaço adicional de custo elevado. Neste processo, muitas vezes o transporte pode atrasar, prejudicando o desempenho do serviço, sendo algumas vezes necessário fretamento extra, aumentando ainda mais os custos logísticos. Esse replanejamento cria um problema de complexa resolução, pois a falta de capacidade representa alto custo e capacidade ociosa dinheiro perdido.

Han et al. (2010) resolvem um problema de gerenciamento de rendimentos de carga aérea usando alocação de capacidade em uma linha simples. Ressaltam que poucos trabalhos na literatura tratam do gerenciamento da carga aérea e que seu tratamento é mais sofisticado do que o gerenciamento de passageiros. Usam um modelo markoviano estocástico para resolução, pois consideram a existência de grande

variabilidade de peso, volume e rentabilidade de cada tipo de carga. Em seu modelo a carga somente é aceita pela companhia se o ganho com seu transporte ultrapassar os custos.

Segundo Han et al. (2010) a capacidade de carga das aeronaves é vendida de duas formas: 1) garantia de capacidade por contrato, por peso/volume, em voo/dia específico; 2) venda livre, sem capacidade garantida, baseada em pedido específico, onde a companhia aceita a melhor oferta. Neste contexto a maximização de uso da capacidade é vista pelas companhias como um grande objetivo de lucratividade. E diferentes tipos de cargas podem representar maiores ganhos, como animais vivos, cargas preciosas e cargas emergenciais.

Luo et al. (2009) desenvolveram um problema de reservas de carga aérea de duas dimensões (peso e volume), duas grandezas mais importantes na aviação. A modelagem de Luo et al. (2009) considera uma curva gráfica com dois eixos (peso e volume) e sua área de aceitação respectiva. Comenta-se a diferença com o transporte de passageiros do mercado aéreo, onde a capacidade é puramente unidimensional (somente de assentos).

As reservas no transporte de cargas aéreas são geralmente realizadas na internet por embarcadores pré-cadastrados, através do peso, volume, origem e destino das mercadorias (Luo et al., 2009). A companhia aceita o agendamento conforme possibilidade de suas conexões e espaço vago nas aeronaves. Embarcadores podem cancelar o transporte mediante penalidades contratuais. Por isso, as companhias preferem poucos e grandes clientes de forma a facilitar esse controle e obterem melhores contratos. Cargas excedentes da capacidade geralmente são alocadas em rotas concorrentes, muitas vezes até de outras companhias. Os preços de realocação geralmente são previamente conhecidos e repassados aos clientes. A conciliação de passageiros, suas bagagens, contratos de transporte de longo prazo, e cargas adicionais/emergenciais é um processo complexo e atual desafio das companhias.

Após a descrição dos casos da logística aérea e do conhecimento prévio do transporte de cargas por ônibus brasileiro, foi possível montar a Figura 16. Destacam-se questões como o uso da capacidade, possibilidade de expansão de frota, frequências de

viagem, tipos de contrato, diferenciações de preço pago por tipo de carga, velocidade de entrega, etc.

Característica	Logística de Jornais e E-commerce	Carga Aérea	Carga por Ônibus
Troca/Trade Off da Ocupação de Capacidade	Jornais - Produtos E-commerce	Passageiros - Bagagens - Cargas (Mayer and Scholz, 2012; Luo et al., 2009)	Passageiros - Bagagens - Cargas (Sousa, 2004)
Frota	Expansão possível (adição de custo)	Difícil Expansão (Mayer and Scholz, 2012)	Expansão possível (adição de custo) (Sousa, 2004)
Frequência das Viagens	Baixa (Diária)	Muito baixa ou baixa (até 5 vôos semanais) (Mayer and Scholz, 2012)	Alta (mais de três viagens diárias) (Sousa, 2004; ANTP, 1997; Brasileiro <i>et al.</i> , 1996)
Principais Custos	Combustível, Tripulação, Frota	Combustível, Tripulação, Frota (Mayer and Scholz, 2012)	Combustível, Tripulação, Frota (Sousa, 2004; ANTP, 1997; Brasileiro <i>et al.</i> , 1996)
Contrato com Embarcadores	Longo Prazo	Longo Prazo, Eventual (encomendas) (Chew et al., 2006; Luo et al., 2009)	Longo Prazo, Eventual (encomendas) (Sousa, 2004)
Preço do Transporte em Função da Antecedência contratada	Não muda	Com antecedência (menor), próximo ao embarque (maior) (Chew et al., 2006)	Não muda (Sousa, 2004; ANTP, 1997; Brasileiro <i>et al.</i> , 1996)
Diferenciação de preço por tipo de carga	Inexistente	Animais vivos, cargas preciosas e emergenciais (mais caro) (Chew et al., 2006)	Inexistente (Sousa, 2004)
Diferenciação de preço	Inexistente	Carga	Carga Expressa (mais

por velocidade de entrega		expressa/emergencial (mais cara) (Chew et al., 2006)	cara) (Sousa, 2004)
Grandeza Limitante da Capacidade	Peso	Peso e volume (Luo et al., 2009)	Peso e volume (Sousa, 2004)
Tecnologia/Gerenciamento de Espaço	Empírica	Digital (web) (Luo et al., 2009)	Empírica (Sousa, 2004; ANTP, 1997; Brasileiro <i>et al.</i> , 1996)
Penalidades/cancelamentos	Inexistente	Possível com Multa (Luo et al., 2009)	Inexistente (Sousa, 2004)
Porte dos Clientes	Médio (300 a 1000 entregas/semana)/Grande (+1000 entregas/semana)	Grande (+1000 entregas/semana) (Luo et al., 2009)	Pequeno (até 300 entregas/semana) (encomendas) (Sousa, 2004)
Custos Excedentes de Realocação de Cargas	Não repassado aos clientes	Repassado aos clientes (Luo et al., 2009)	Não repassado aos clientes (Sousa, 2004)
Aceitação de Carga Adicional	Sem critério	Estudo preliminar (Luo et al., 2009)	Sem critério (Sousa, 2004)

Figura 16: Comparativo entre Logística de Jornais e E-commerce, Carga Aérea e por Ônibus (Fonte: Elaborado pelo Autor).

Após a revisão bibliográfica de estudos que tratam sobre o carregamento de veículos e sua analogia com o transporte aéreo, destacam-se diversos elementos importantes que devem ser considerados no modelo proposto: o peso como parâmetro de controle e de restrição de capacidade; possibilidade de inclusão de veículos extras; priorizações de carregamento com valores distintos cobrados para cada cliente; penalidades por não transportar; e cobrança diferenciada pelo prazo de entrega (Figura 17).

Nesta tese, o carregamento ou alocação de cargas nos veículos será composto por jornais e produtos de e-commerce. A logística de jornais possui características específicas que devem ser consideradas na formulação do modelo, essas serão descritas a seguir.

<u>AÉREO</u>	<u>RODOVIÁRIO</u>
Variáveis volume e peso	Variável peso (alta densidade do jornal)
Passageiros discretos, carga contínua	Carga discreta (inteiras), volumes pequenos
Espaço vago com maior variabilidade (bagagem de passageiros e cargas). Capacidade é estocástica	Variabilidade de jornais é pequena (em função do dia da semana). Capacidade é determinística para cada dia da semana
Necessidade de postergação de carregamento inclusive para concorrentes	Necessidade de postergação de carregamento
Maior parte dos estudos são estáticos	Maior parte de estudos de jornais e cargas são estáticos
Bibliografia com foco no carregamento	Bibliografia com foco na roteirização
Estudo motivado pelo overbooking e incentivo ao transporte de carga aérea	Estudo motivado pela ociosidade da capacidade de frota e altos custos operacionais

Figura 17: Comparativo de Estudos do Transporte Aéreo com Logística Compartilhada Rodoviária.

3.2 TRANSPORTE DE JORNAIS E DE PRODUTOS PERECÍVEIS

A logística de jornais possui especificidades pelo fato do produto apresentar elevado nível de perecibilidade. O atraso de minutos pode ser vital para o mercado desta mídia impressa. Considerando a quantidade de fábricas/redações de jornais existentes no país e no mundo, a quantidade de estudos que tratam de sua logística é pequena. A seguir são descritos alguns exemplos, na sua maior parte problemas de roteirização.

Song et al. (2002) fizeram uso da tecnologia geográfica digital para alocação de centros de distribuição e rotas de jornais na Coreia do Sul. Utilizaram a heurística para resolução do problema de roteirização, fazendo uso de mapas digitais. Consideraram uma solução dinâmica simples, econômica e efetiva na agilização dos resultados. Encontraram que o método reduziu os custos de entrega em 15% e os atrasos em até 40%.

O uso de algoritmo heurístico também foi utilizado por Archetti et al. (2013) para o problema de entrega de jornais gratuitos para metrô, ônibus e estações. O objetivo era minimizar o número de viagens realizadas e o tempo de distribuição do periódico. Trata-se de um problema com restrições de janelas de tempo, roteirização, e restrições do processo produtivo. São definidos três tempos: tempo de viagem; tempo de serviço (entrega); e tempo de espera nas estações. A frota é homogênea, onde cada veículo faz somente uma rota, contudo uma rota pode ser composta por grupos de viagens consecutivas.

Conforme Archetti et al. (2013), como o volume de jornais varia de dia para dia, o percentual de uso da capacidade de veículos também muda diariamente. Os resultados mostraram que um algoritmo híbrido que melhora uma solução inicial repetidamente resolvendo a otimização de uma programação linear inteira mista é a melhor aproximação, especialmente quando a primeira solução é de baixa qualidade. Quando a solução inicial é razoável, uma heurística simples para a segunda fase (como pesquisa de vizinhança) obtém um bom resultado e um bom compromisso entre qualidade e tempo.

Seguindo o enfoque do planejamento de redes de jornais, Böhnlein et al. (2011) realizaram um estudo fazendo uso de multi-agentes. O objetivo era sincronizar a produção e a distribuição, minimizando custos e melhorando a satisfação dos clientes. É criado um problema especial chamado de problema de roteirização de veículo com janela de tempo e dependente de clusters (VRPTWCD - Vehicle Routing Problem with Time Windows and Clusters-Dependent).

No estudo de Böhnlein et al. (2011) em uma rede de jornais alemães, considerou-se a complexidade do assunto com controle on-line dinâmico. Conclui-se que o uso de multi-agentes obtém resultados superiores à otimização estática centralizada, devido à grande variabilidade de produção e entrega e à necessidade de negociação dinâmica com os transportadores. Obtém-se uma redução de 15 a 17% da rede, 16% de redução de frota, e aumento da satisfação dos clientes. Os autores também consideram o jornal como um produto altamente perecível distribuído imediatamente após sua produção.

Após a revisão sobre os estudos da logística de jornais existentes na literatura, observa-se que os mesmos focam na roteirização e não na alocação de cargas e veículos que é o foco deste trabalho. Além disso, é possível constatar alguns aspectos sobre jornais importantes de serem incorporados ao modelo proposto: existência de rotas fixas; impossibilidade de postergação de sua entrega; pequena variabilidade diária de carregamento variando de acordo com o dia da semana.

Constatou-se também que a logística de jornais possui restrito referencial bibliográfico, pois os administradores desta mídia consideram sua logística como diferencial estratégico e por consequência, sigiloso. Portanto, acredita-se que a literatura mais vasta e recente sobre a logística de produtos perecíveis (alimentos) com

características semelhantes pode auxiliar adicionalmente no entendimento da questão, esta será explicada em seguida.

Como a logística de jornais, a logística de produtos perecíveis (alimentos) possui características operacionais importantes de serem analisadas tais como distribuição rápida (perecibilidade), rastreabilidade da carga, frescor e validade dos alimentos muito valorizada pelos clientes (Tsamboulas, 2013). Contudo, diferente dos jornais, possuem alta variabilidade na cadeia de acordo com o tipo de produto, sazonalidades distintas, e dispersão espacial.

Tsamboulas (2013) propõe uma ferramenta para racionalização de bens perecíveis e alimentos na região mediterrânea europeia (Grécia). Sua ferramenta apresenta uma eficiente e competitiva cadeia logística perecível, incentivando a qualidade e sustentabilidade do transporte com outros países membros da comunidade europeia. É realizada uma análise multicriterial para selecionar as características benchmarks, considerando critérios qualidade, tempo, custo, e produtividade e seus sub-critérios vinculados (sub-critérios na Figura 18).

Gebresenbet et al. (2013) desenvolveram um estudo com o objetivo de mapear a rede logística de alimentos e seus canais de marketing locais na Suécia, propondo soluções. Constataram que produtores de pequena escala trabalham com pequeno número de funcionários o que aumenta o desafio pelo desempenho. Foram realizados 77 questionários com produtores rurais em todo o país. Verificou-se que muitos produtores utilizam diferentes canais de marketing, tais como vendas rurais (75%), feiras (66%), lojas (60%) e restaurantes (58%). A maior distância de viagem foi de 1300km, sendo 38% da distribuição a menos de 100km, onde 68% das entregas foram realizadas com veículos próprios, usando automóveis, vans e pequenos caminhões.

O objetivo principal do trabalho de Ljungberg et al. (2013) foi aprimorar a logística de produtores de pequena escala criando um modelo estratégico de desenvolvimento tendo como base diferentes áreas da Suécia. Analisaram-se as soluções inovadoras utilizadas. Constatou-se elevada variabilidade de tamanho, modo de operação e canais de venda. Um modelo conceitual com a estratégia apropriada foi desenvolvido a partir

de entrevistas e revisão bibliográfica, levando em conta distâncias de transporte, *turnover* e oportunidades de negócio.

Critérios	Sub-critérios	Unidade de Medida
Qualidade	Produtos Frescos e Aprovados pela Regulação	t/ano
	Fretes no Prazo	%
	Pedidos em Boas Condições	%
	Rastreabilidade	Sim/não
Tempo	Tempo Emissão de Pedido	hs
	Entregas no Prazo	Sim/não
	Variabilidade do tempo de processamento	Baixa, média, alta
	Tempo de estoque	hs
	Tempo de entrada do pedido	hs
Custo	Custo Total da Cadeia	Euro
	Custo Total de Estoque	Euro
	Valor do Produto não danificado	Euro
	Custo Médio por km/ton	Euro (km/ton)
	Razão do Valor de Transporte por Ton	%
Produtividade	Média de Produtos Processados	Nº
	Utilização de Estoque	m ²
	Uso de veículos	Nº
	Capacidade de Utilização dos Contêineres	%
	Número médio de paradas por rota	Nº de paradas

Figura 18: Critérios e Sub-critérios da logística de Alimentos Perecíveis (Tsamboulas, 2013).

Motte-Baumvol et al. (2013) realizaram estudo sobre a entrega residencial de supermercados e pontos de venda na região metropolitana de Dijon na França. Considerando a dificuldade de transporte urbano na Europa, principalmente em famílias sem automóvel, idosas e com crianças, a compra de comida on-line torna-se uma boa solução. O comércio sabe dessas dificuldades e foca suas ações nestes tipos de clientes, além de promoções para entregas em maiores quantidades. A entrega para este tipo de clientes é mais sustentável devido aos horários de transporte entre-pico. Os entregadores tendem a preferir áreas mais densas de entrega de forma a minimizar a quilometragem rodada e por consequência seus custos.

Novaes et al. (2013) fizeram um estudo sobre os efeitos da roteirização na performance térmica de veículos refrigerados na distribuição de produtos perecíveis. A

temperatura dos produtos perecíveis ao longo de sua distribuição deve-se manter dentro dos limites para garantir segurança e qualidade aos produtos transportados. Grande parte da variabilidade de temperatura se deve à abertura de portas no momento do descarregamento nos clientes. O objetivo portanto é minimizar as distâncias viajadas ou o tempo de viagem, mantendo o indicador de performance térmica dentro dos limites desejados.

Segundo Novaes et al. (2013), o modelo de transporte de produto perecível refrigerado em ziguezague pode parecer não intuitivo, mas o aumento da distância que ligam alguns pontos de entrega ajuda na refrigeração do veículo reduzindo sua temperatura interna para níveis aceitáveis. Outras soluções de funcionamento também podem ser contempladas, tais como o uso de veículos menores com rotas mais curtas que retornem ao depósito para outras cargas de produtos preservados seguindo para uma próxima rodada subsequente de distribuição.

Após a leitura sobre produtos perecíveis (alimentos) foi possível a constatação de aspectos importantes no desenvolvimento desta tese que são: a importância e crescimento da logística de transporte no mesmo dia (*"same day delivery"*), bastante presente na Europa e Estados Unidos e em expansão pelo mundo; alta perecibilidade dos alimentos assim como os jornais; a necessidade de avaliar o uso de veículos de diferentes capacidades; e a importância de racionalizar as redes logísticas urbanas através da operação por cooperação e parcerias. Todos esses fatores influenciam nas decisões a serem tomadas pelos gestores do sistema de distribuição logística. A modelagem a ser desenvolvida nesta tese tem como objetivo auxiliar nestas decisões, para tanto é importante conhecer a teoria por traz dos sistemas de apoio à decisão.

4 SISTEMAS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

Este capítulo tratará sobre o processo de tomada de decisão logística que envolve os diferentes itens descritos no capítulo anterior. Existem diversas abordagens diferentes sobre os sistemas de tomada de decisão na bibliografia, descrevendo suas características, elementos do processo decisório, suas fases, áreas de pesquisa, e métodos utilizados. Esta tese contribui ao subsistema do modelo de tomada de decisão.

Em relação ao processo de tomada de decisão, Turskis et al. (2009) escrevem que todas as novas idéias e variantes devem ser comparadas de acordo com diversos critérios. A natureza complexa deste processo requer selecionar as opções de investimento com base em uma variedade ampla de características, além da análise de custo benefício e considerações técnicas puras. Na economia a tomada de decisão é essencial para ser capaz de levar em conta os impactos das mudanças no mundo dos negócios internacionais, nacionais e nos mercados regionais e locais.

A busca por informações é um importante foco de empresas e governos, é através delas que obtém-se substrato para as decisões. Ferramentas que manipulem essas informações e deem suporte ao moderno processo decisório são essenciais. Essas ferramentas devem possuir preferencialmente as seguintes características básicas (Bispo, 1998):

- Possibilitar manipulação de problemas menos especificados, comuns no processo gerencial;
- Combinem técnicas analíticas às informações;
- Permitam o uso por não *experts* em computação;
- Enfoquem a flexibilidade e adaptabilidade.

A utilização de modelos de apoio à decisão possibilita alguns ganhos, tais como (Ehrlich, 1996): identificar componentes relevantes e descartar os desprezíveis; desenvolver a intuição; discutir a estrutura e componentes; analisar cenários complexos; testar alternativas (Cascetta et al., 2015), e; verificar a estabilidade dos resultados.

Devem possibilitar o tratamento de problemas com complexidade superior à capacidade cognitiva habitual (Pereira, 2009). Permitir ganhos de eficácia nas decisões (acurácia e qualidade) e eficiência (baixo ou razoável custo e rapidez). Reduzir o número de decisores, facilitando a comunicação entre os que estão alocados distantes.

Nos sistemas de apoio à decisão em transportes ocorrem as seguintes características (Barfod and Salling, 2015):

- As alternativas a serem avaliadas são bem definidas e de fácil medição com relação aos impactos potenciais, ou podem ser mal definidas tornando-os difícil de avaliar;
- Os critérios a serem ponderados são baseados em atributos bem definidos e mensuráveis, ou os atributos podem ser não-mensuráveis o que torna difícil adotar pesos;
- O grupo decisor pode consistir de profissionais que são especialistas dentro da sua área e têm experiência no tipo de decisões a serem feitas (utilizadores avançados), ou podem ser pessoas com apenas nível superficial de conhecimento sobre o assunto (usuários básicos).

Segundo Lyrio et al. (2015) o processo de apoio à decisão é constituído de três fases: 1) estruturação - contexto do problema, ambiente onde está inserido e estabelecimento de uma escala de mensuração; 2) avaliação – seleção de um critério de síntese; 3) elaboração de recomendações – sugestão de ações necessárias e impacto das possíveis decisões.

Entre as principais áreas de pesquisa de apoio à decisão (*DSS – Decision Support Systems*) estão (Bispo, 1998):

- Sistemas de Apoio à Decisão em Grupo (GDSS): Abrange os avançados recursos de software e hardware que apoiam as decisões, incluindo estratégias coletivas com comunicação remotas e à distância;
- Fundamentos de DSS: definições, conceituação, estrutura, e evolução dos Sistemas de Apoio à Decisão;

- Interface com Usuário/Decisor: maneira como os dados são abastecidos nos sistemas e como os resultados são apreciados, bastante importante na aceitação junto às empresas;
- Modelos de Gerenciamento: foca na representação, processamento, interface e aplicação de modelos lógicos representativos do mundo real para o gerenciamento de seus usuários/decisores;
- Análise Multicritério de Apoio à Decisão: usa problemas semi ou não estruturados, como diversos critérios de avaliação e/ou diversos objetivos;
- Psicologia ou Ciência Cognitiva: estuda características do aprendizado humano e sua participação nos processos decisórios, individualmente ou em grupo;
- Inteligência Artificial: como esta tecnologia e o seu conhecimento podem ajudar nas decisões;
- Ciência Organizacional: foca na estrutura funcional das empresas de forma a contribuir para a elaboração dos modelos de decisão;
- Ciência dos Sistemas: complexidade, composição, e relações com outros sistemas das empresas, de forma a possibilitar seu melhor funcionamento conjunto;
- Implementação: estágio conclusivo do processo e onde existe inter-relacionamento das demais áreas descritas.

Os problemas de decisão podem ser classificados da seguinte forma (Pereira, 2009):

- Problemas estruturados: problemas de rotina com soluções *standard*. Possuem critérios delimitados, com número pequeno de alternativas de consequências previsíveis. Geralmente possibilitam soluções ótimas, sendo na maior parte das vezes os objetivos de minimizar custos ou maximizar lucros. Este problema será abrangido nesta tese;

- Problemas não estruturados: complexos, novos, sem procedimentos conhecidos. Apresentam critérios de decisão imprecisos, alternativas numerosas e soluções desconhecidas.
- Problemas semi-estruturados: elementos das duas outras características, sua resolução combina o tipo standard e julgamento humano.

O ambiente de tomada de decisão pode ser de três categorias (Pereira, 2009): certeza – completo conhecimento das consequências de cada alternativa; risco – várias consequências para cada alternativa, com probabilidades estimadas, e; incerteza – várias consequências, mas não se conhece as probabilidades.

O processo de tomada de decisão pode utilizar métodos multi-objetivos ou multi-atributos para resolução do problema (Conde, 2013):

- Método Multi-objetivo: o problema é resolvido por programação matemática linear ou não linear, onde funções objetivo são integradas e otimizadas, respeitando restrições, sendo este o caso deste trabalho. As variáveis de decisão podem ser contínuas ou discretas. A abordagem preferencial usa métodos de otimização, porém também podem ser usadas simulação discreta e algoritmos/heurísticas (Simonetto e Borenstein, 2006).
- Método Multi-atributo: as alternativas são conhecidas previamente, sendo sempre um espaço de decisão discreto. Alguns usam o ordenamento de alternativas, enquanto outros comparam as alternativas gerando índices. Os mais comuns usados são as teorias de utilidade/preferência (Wong et al., 2015) e análises hierárquicas.

Durante o processo decisório é necessária uma análise de sensibilidade do impacto de cada variável de entrada nos resultados. Essa análise de sensibilidade pode ser automática (mostrando os intervalos que geram mudanças nos resultados), ou manual (o decisor testa valores) (Pereira, 2009). As três fases básicas deste processo são entendimento, formulação e aprendizado, muitas vezes elas não são realizadas sequencialmente, sendo preciso regressar à fases anteriores.

Após a leitura sobre tomada de decisão é possível classificar o modelo de decisão a ser desenvolvido nesta tese como um Modelo de Gerenciamento de Caráter Operacional, Tático e Estratégico, de um problema estruturado em ambiente de certeza, resolvido com método multi-objetivo. Sendo possível racionalizar recursos limitados, analisar cenários com rapidez, considerando os diversos *stakeholders* envolvidos nas parcerias e alianças, respeitando as regras e contratos entre as partes. A seguir serão descritos aspectos relativos à modelagem de problemas logísticos.

5 MODELAGEM DE PROBLEMAS LOGÍSTICOS

Neste capítulo serão tratadas diversas abordagens sobre modelagem logística. Contudo, como existem poucos estudos que tratam da modelagem logística de jornais e de e-commerce, serão usados como analogia trabalhos semelhantes do transporte aéreo de cargas e de passageiros. O setor aéreo historicamente possui elevados custos e capacidades restritas de suas aeronaves, situando-se bastante avançado em relação ao transporte rodoviário em termos de tecnologias aplicadas e soluções logísticas tanto no estado da arte quanto da prática. Observa-se este avanço em relação à gestão e às modelagens empregadas na racionalização de frotas, redução de custos, aumento de produtividade e de receitas.

Um modelo consiste da representação simplificada da realidade, abrangendo os elementos mais importantes do processo. Substitui-se a complexidade da realidade pela experimentação. Permite analisar diferentes cenários, dando embasamento para tomada de decisão (Ehrlich, 1996).

As etapas da modelagem são (Ehrlich, 1996): 1) Formulação – definir o que decidir, listar alternativas e incertezas, delimitar o escopo de análise; 2) Análise Determinística – obter um modelo de valor e realizar análise de sensibilidade; 3) Análise Probabilística (presente em parte dos estudos) – obter informações de incertezas, salientar pontos sensíveis, e construir modelo de decisão; 4) Avaliação – definir a política ótima, analisar os riscos, e; 5) Apresentação de Resultados – resumo das análises.

Cascetta (2009) divide os modelos de transportes em três tipos: Macroscópicos, Mesoscópicos e Microscópicos. Os modelos macroscópicos possuem menor nível de detalhe dos dados de demanda, sendo tratados agregadamente. Os modelos mesoscópicos representam o nível de detalhe de um veículo/carga ou grupo de veículos, sendo sua representação discreta e o movimento de cada veículo individual dependente das relações agregadas do fluxo. Os modelos microscópicos descrevem movimentos individuais dos veículos como resultado de escolhas individuais desagregadas e da interação com os demais veículos e com o meio.

Kleijnen (2005) distingue basicamente quatro tipos de modelagem no gerenciamento da cadeia de produção: 1) análise de dados em planilha (usando dados de

controle); 2) sistemas dinâmicos (considerando efeitos de chicote); 3) evento discreto em sistema dinâmico (previsões de taxas em sistemas estocásticos), e; 4) teoria dos jogos (educar e ensinar usuários). Já do ponto de vista da análise oferecida, distingue-se quatro tipos de modelagem: 1) validação e verificação; 2) sensibilidade (opções); 3) otimização, e; 4) robustez, risco e análise de incerteza. Portanto, deve-se quantificar os benefícios de gerenciar essa cadeia de suprimentos em três níveis: nível estratégico (abrangendo o design da rede e contratos), nível tático (escolha de clientes, produtos e frotas), e; nível operacional (alocação de cargas e uso de veículos).

Considerando o desenvolvimento sustentável das áreas urbanizadas e a mobilidade de pessoas e dos bens, tem-se focado mais atenção na coordenação e modelagem de problemas de tráfego e de logística. A modelagem dessas distribuições físicas baseia-se essencialmente em dois tipos de ferramentas: modelos de simulação e de otimização/heurísticas (Taniguchi et al., 2012).

5.1 SIMULAÇÃO

Os modelos logísticos de simulação atuais usam tipicamente sistemas com agentes inteligentes com múltiplos *stakeholders* envolvidos, mais focados nos problemas de roteirização e não de carregamento (Pastore et al. (2010), Iannoni & Morabito (2006), Carvalho (2006), Bergue (2000) e Blanchard (2008)).

Segundo Ying & Dayong (2005) a teoria dos agentes criada para analisar a interação dos diversos atores nas redes produtivas, nasceu de pesquisas de inteligência artificial nos anos 1970 e cresceu em utilização nos anos 1980. Os estudos de agentes são classificados em três tipos: agentes inteligentes (adota a melhor ação possível diante de uma situação); sistemas de multi-agentes (agentes autônomos em um universo de grupo), e; programação agent-faced (designa um caminho ajustando a direção do agente). Os sistemas multi-agentes são especialmente adequados para tratar problemas complexos, colaborativos e de difícil previsão. Os agentes possuem basicamente quatro propriedades fundamentais: autonomia, habilidade social, reatividade e pró-atividade.

Os sistemas multi-agentes têm sido usados para roteirização de veículos e entregas com janelas de tempo (Teo et al., 2012) (*vehicle routing and scheduling problem with time window* - VRPTW) utilizando teoria dos leilões (*auction theory*) e reforço de

aprendizagem (*reinforcement learning*), abordando todos os *stakeholders* envolvidos. Medidas aplicadas pelo Governo tais como restrição/taxação veicular com redução de emissões pelos caminhões foram testadas.

Em e-commerce Ying & Dayong (2005) realizaram um estudo abrangendo operadores terceirizados (*third party logistics – 3PL*), abordando design, entregas, estocagem e transporte na cadeia de suprimentos. Cinco tipos de agentes inteligentes foram usados em uma distribuição ganha-ganha entre vendedores e clientes: gerenciadores de pedidos; engenheiros de processo; gerenciadores de recursos; coordenação dinâmica, e; simuladores e avaliadores.

Os estudos de multi-agentes baseiam-se em uma demanda fixa com janela de tempo, podendo-se usar a teoria dos jogos para representar o comportamento de produtores na rede (exemplo na Figura 19, Teo et al., 2012). O processo de competição de precificação transfere o trabalho de um agente para outro com concordância mútua. Os produtores querem um serviço com menor preço enquanto os transportadores preferem maior preço. Portanto, conflitos aparecem através da teoria de jogos/leilões desta interação dos *stakeholders*. Neste processo os agentes devem ser hábeis para aprender, podendo o sistema ser chamado de inteligente.



Figura 19: Exemplo de Distribuição com Multi-Agentes (Teo et al., 2012).

5.2 OTIMIZAÇÃO

Os modelos logísticos de otimização em grande parte das vezes são resolvidos através da teoria de Pesquisa Operacional (Taha, 2008; Colin, 2013; Lachtermacher, 2009). A Pesquisa Operacional abrange métodos exatos, aproximativos (heurísticas), teoria de filas, teoria dos jogos, sistemas e processamentos.

Os modelos logísticos de otimização/heurísticas podem incorporar elementos multiperíodo (a ser usado a seguir neste estudo) e estocásticos. Segundo Cascetta (2009), problemas multiperíodo com links temporariamente saturados são de difícil representação e solução. Os modelos multiperíodo tem estrutura similar aos estáticos, a diferença está na dependência do fluxo de propagação das variáveis de um período predecessor ao seu posterior.

Os serviços de transporte e seus modelos respectivos podem ser divididos em duas classes principais, contínua e discreta. Os modelos contínuos são aqueles onde a variável é tratada como contínua sendo definida em qualquer ponto do espaço/tempo. É resolvido através de equação de derivação/integração. Os modelos discretos são aqueles onde as variáveis assumem somente valores inteiros (Cascetta, 2009).

Os elementos principais de um modelo de otimização/heurísticas são (Ehrlich , 1996):

- Variáveis de controle ou decisão: passíveis de atuação para obtenção de objetivos;
- Variáveis de estado ou de natureza: aquelas que não se tem controle, porém influenciam nos resultados;
- Estrutura do Modelo: Equações matemáticas que compõem as relações;
- Parâmetros: Valores numéricos das equações;
- Critérios de Decisão: Regras de preferência;
- Objetivos: Metas a serem alcançadas.

Devido a pequena quantidade de estudos de otimização/heurísticas de carregamento/alocação de cargas rodoviárias, serão utilizados para análise quatro estudos relativos ao transporte de carga aérea (Mayer e Scholz, 2012; Chew et. al., 2006; Han et al., 2010; Luo et al., 2009) e dois estudos com carregamento estocástico dinâmico (Klibi et al., 2010 e Karmarkar e Yoo, 1994).

Mayer e Scholz (2012) desenvolveram um modelo multinomial através de regressão linear para a função de custo do transporte aéreo. Dividiram o mesmo em quatro estágios: o primeiro relativo ao carregamento (embalagem e manuseio); o segundo relativo ao voo (custos do voo, tais como combustível e pessoal); terceiro nível relativo à rota (todos os custos dos voos da rota, organizacionais e regionais), e; quarto nível relativo à companhia (gerenciamento, marketing, etc). Porém o estudo de Mayer e Scholz (2012) foca na função de custo do segundo nível, fazendo uso de dados de dez companhias aéreas americanas de 1990 até 2007 que operam passageiros e cargas.

Neste estudo de Mayer e Scholz (2012) a função de custo média usa uma expressão logarítma linear, com combustível, ocupação, distância viajada, depreciação, taxas terrestres e custos de pessoal. O objetivo desta função é representar os custos da companhia em função de decisões corporativas. Por fim, este modelo indica que o preço dos combustíveis, custos de pessoal, distância viajada, depreciação e taxas aeroportuárias terrestres influenciam positivamente os custos, enquanto o fator de ocupação reduz os custos por unidade.

Luo et al. (2009) resolveram um problema bidimensional (peso e volume) de *overbooking* do transporte aéreo, considerando a minimização do desperdício de capacidade e da sobrecarga de carregamento. Onde as companhias aplicam multas aos clientes que não usarem o espaço pré-contratado. A demanda de carregamento é considerada contínua, utilizando a distribuição Normal e Gram-Charlier de chegada. Consideram grande dificuldade de implementação desta modelagem contínua na prática, devido a escassez de dados para cálculo do custo marginal.

Klibi et al. (2010) desenvolveram um problema estocástico multiperíodo de localização de transporte (stochastic multiperiod location transportation problem - SMLTP) usando demanda estocástica e múltiplos períodos de análise. Propõem uma

solução heurística e o procedimento de Clarke and Wright com três estratégias de vizinhanças de exploração e cenários por Monte Carlo. Os autores consideram a dificuldade de resolução do problema de forma ótima pelo tamanho e complexidade da formulação com softwares comerciais (problema de alocação de depósitos), também consideram demanda estacionária para auxiliar na resolução.

Karmarkar e Yoo (1994) fizeram um estudo estocástico dinâmico sobre o problema de produção cíclica, usando demanda estocástica, método Lagrangeano e soluções heurísticas e iterativas. Fez uso da linguagem Pascal, com 50 simulações para cada período. Os resultados computacionais não foram encorajadores, já quando resolvido de forma determinística os resultados foram melhores. A Figura 20 resume os principais pontos levantados em cada um dos estudos de descritos.

Apesar dos estudos de modelagem do setor aéreo descritos aqui abrangerem individualmente aspectos semelhantes ao problema desta tese, tais como: i) carregamentos com maximização de lucratividade, ii) respeito às capacidades e minimização de ociosidades, iii) problemas multiperíodo no tempo (postergação de carregamentos) e, iv) otimização de frota; nenhum deles consegue atender com plenitude ao conjunto de exigências e especificidades do problema a ser enfrentado aqui. Estas características a serem incorporadas aqui são carregamentos/alocação de cargas discretas (inteiras), problema multiperíodo, rotas fixas, frotas heterogêneas, múltiplos transportadores terceirizados com preços distintos, múltiplos clientes, múltiplos produtos e existência de multas por não transportar. Portanto, considera-se que para inclusão de todas essas exigências, a Programação Linear, mais precisamente sua abordagem Inteira é a ferramenta mais adequada a ser utilizada. Ambas serão explicadas a seguir.

ESTUDO	Mayer & Scholz (2012)	Chew et al. (2006)	Han et al. (2010)	Luo et al. (2009)	Kilbi et al. (2010)	Karmarkar & Yoo (1994)
Problema	Estimar o custo de transporte de carga em função das variáveis adotadas.	Trade-off entre custo de acumular carregamento e o custo de adquirir espaço adicional; primeiro é vendido espaço de longo prazo, depois de curto prazo.	Problema de alocação de capacidade (modelo Markoviano discreto em vão simples), considerando peso como unidade.	Calcular o limite de overbooking (em peso e volume) de forma a minimizar os custos.	Determinação do número e locação de depósitos para satisfazer os clientes. Demanda estacionária (processo), problema estocástico combinatorial. Carregamento deve ser pago independente da quantidade. Veículos com diferentes capacidades podem ser usados. Carregamento do dia atual, planejado para o período (dia) seguinte. Considerou-se o período de um ano (200 dias úteis).	Reduzir o custo de produção cíclica multiperíodo com demanda estocástica.
Objetivo	Estimar o custo da companhia em função do valor das variáveis	Determinar o ótimo espaço de curto prazo a ser comprado dado um contrato de longo prazo pré-existente	Maximizar o rendimento da empresa.	Encontrar a quantidade em peso e volume para os limites de overbooking; mostrar que a distribuição de demanda não afeta os limites de overbooking para um dia de análise (estático).	Maximizar lucro, considerando receitas e custos.	Planejar a produção, minimizando os custos.
Variáveis	Variáveis independentes: combustível; carga (ocupação); distância; depreciação; tarifas aeroportuárias; custos de pessoal.	Custo de reserva do período/carregamento anterior; custo de adquirir espaço adicional; custo do carregamento atual e do próximo estágio, considerando a carga de longo prazo e carga adicional.	Receita, custo, peso total, volume total, capacidades em peso e volume.	Considera o offloading cost (custo de realocação); demanda contínua em peso e volume; capacidade é estocástica, dependendo do carregamento de passageiros.	Tempo (t), depósito (I), ponto de entrega (p), rendimento (r), margem de lucro.	Dois tipos de variáveis de custo: o custo de usar a máquina e o custo de ocupá-la com material. Estoque.
Função Objetivo	Regressão Logaritma do Custo da Companhia de Transporte de Carga	Minimizar custo do estágio considerando: custo da carga reservada do carregamento anterior, custo embarcado no momento atual (contrato de longo e custo prazo), custo de adquirir espaço adicional (se necessário), custo do próximo estágio/posterogação de carregamento	Maximizar o rendimento com lucro > custo, sem ultrapassar a capacidade em volume e peso.	Minimizar a soma de custo de sobrecarga e da ociosidade de capacidade.	Minimizar o custo de transporte, considerando a tarifa de cada rota que é função da quantidade de carga, dos pontos de entrega e dos depósitos. Maximizar o lucro, considerando a quantidade de depósitos utilizados (rendimento - custo).	Minimizar custo de produção.

Figura 20: Comparativo dos estudos de carregamento logístico por otimizações/heurísticas.

ESTUDO	Mayer & Scholz (2012)	Chew et al. (2006)	Han et al. (2010)	Luo et al. (2009)	Kilbi et al. (2010)	Karmarkar & Yoo (1994)
Dados	Estimados a partir do US Department of Transportation (10 companhias)	Distribuição uniforme triangular normal (sempre com a mesma média, mudando na simulação o desvio padrão).	Boeing 747, demanda com distribuição normal	Dados simples processados em Excel; parâmetros de show up de peso e volume são iguais; a densidade da carga é considerada sempre a mesma; consideram que o peso pode ser usado bem como única variável de capacidade para cargas de alta densidade.	Dados reais da rede americana de rodovias. Distribuição de chegada (lognormal).	Demanda com distribuição Normal.
Técnica	Função desagregada de custo; regressão linear multinomial (logartima)	Modelo de programação estocástica dinâmica de curto prazo; problema de planejamento de capacidade multiperíodo; horizonte finito de modelagem (período máximo contratado); a penalidade por postergar o pedido é proporcional ao tempo e ao tamanho do mesmo; Política First-in-First-Out; Fizeram uso de função densidade de probabilidade de intervalo semi-infinito (zero a infinito); a capacidade adquirida é percebível.	Modelo Markoviano: Reservar carregamento ou embarcar (oportunidade > Custo); período zero igual ao início do agendamento, período N (decolagem), na cadeia de Markov somente interessa o estado atual (imediatos) e não os anteriores; utilizou-se o método simplex para resolução; assumiu-se que 50% da capacidade é para contratos de longo prazo; 10 tipos diferentes de carga; Demanda segue distribuição de Poisson	Curvas de aceitação de pedido; capacidade considerada é igual a capacidade residual após carregamento dos contratos de longo prazo; a carga é considerada fracionável para dividi-la em outros carregamentos posteriores; distribuição Normal e Gran-Charlier utilizadas para substituir a distribuição aleatória de chegada; derivação da equação contínua de custo para obtenção de custo mínimo. Formulação contínua (integração em peso e volume). Testou-se a variação de custo de sobre carga.	Problema estocástico multiperíodo de localização; Heurística de solução hierárquica (tabu search) e procedimento modificado de Clarke and Wright. Cenários por Monte Carlo.	Método de restrição Lagrangeano (divisão em partes menores para formar um problema gerenciável). Similar ao problema determinístico, incluindo efeito do tempo e variabilidade de carregamento.
Resultado/Solução	Obtenção dos coeficientes de cada variável independente; combustível possui maior impacto (dependendo do design da aeronave); quanto maior o carregamento menor o custo por unidade; frota (depreciação) tem baixo impacto no custo; tarifas aeroportuárias também possuem baixo impacto.	A função de custo é convexa crescente (cresce mais no início) em relação ao estoque inicial; quanto maior a reserva inicial, maior o espaço adicional necessário; o resultado muda pouco em função do tipo de distribuição de demanda;	Demanda de pico e fora de pico foram analisadas; Testou-se o desempenho em vários cenários de capacidade e valores cobrados.	Análise de sensibilidade variando a estrutura de custo e a densidade de carregamento. Quando o custo de sobre carga aumenta o modelo bidimensional tem o melhor resultado, mas a aproximação com o carregamento infinito torna-se pior. Modelo estático heurístico: as companhias tem dificuldade de implementar o modelo na prática por que a definição da curva de overbooking requeriu infinitos pares.	Modelo discreto; Método de Monte Carlo para geração de cenários iniciais. Tabu é a heurística para localização dos depósitos. Clarke and Wright usado para o problema de transporte. A diferença para o problema VRP (Vehicle Routing Problem) é que o veículo usado não retorna ao depósito. O problema é considerado TL (truckload problem). A cada nova iteração um novo cenário de depósitos é gerado. Dados processados em Visual Basic. Um pequeno número de cenários foi necessário para a obtenção de bons resultados. Testou-se 48 combinações de problemas.	Uso de heurística para redução de fronteiras do problema. O problema é resolvido iterativamente de trás para frente. 5 problemas de cada tipo foram resolvidos e um problema longo. Utilizou-se o sistema Pascal para resolução. 50 simulações para cada caso foram rodadas. Os resultados obtidos não foram bons como nos métodos determinísticos. Estudos de problemas longos não são aconselhados.
Tipo de Desagregação (caso exista)	Recursiva: 1) Carregamento; 2) Vão (este artigo); 3) Rota; 4) Companhia	Horizonte de 3 dias (2 vôos/dia), seis estágios.	1) Estipular o preço ótimo de venda e resolver a lucratividade; 2) estipular a lucratividade e achar o preço ótimo.	Modelo unidimensional (peso); modelo bidimensional (peso e volume); região de aceitação por fronteira curva; fronteira retangular; equações diferentes para cada tipo de densidade de carga.	Três estratégias de vizinhança são propostas. Primeiro calculam-se as rotas ideais para o melhor custo, depois a rentabilidade. Hierarquia: localização de depósitos depois o transporte. Três tipos de problemas testados (pequeno, médio e grande).	Desmembramento da formulação em partes menores para facilitar a obtenção de resultados.

Figura 20: Comparativo dos estudos de carregamento logístico por otimizações/heurísticas (continuação).

5.2.1 Programação Linear

Segundo Lachtermacher (2009), um problema matemático de Programação Linear é composto por função objetivo e restrições lineares respectivas (Equação 1). A função objetivo pode ser de maximização (lucro, receita, utilidade) ou minimização (custo, perdas, erros) (Colin, 2013).

$$\text{Otimizar: } z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \leq \\ = \\ \geq \end{array} \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{array} \right.$$

onde:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{in} x_n \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

n é o número de variáveis

m é o número de restrições

Entre as áreas de aplicação da programação linear está a administração da produção; análise de investimentos; logística; gestão de custos de transporte; localização de redes de distribuição, e; alocação de recursos.

Uma hipótese em problemas de programação linear é a consideração de certeza em constantes e coeficientes. A solução depende dos coeficientes da função objetivo (lucro, receita ou custos) e dos coeficientes e constantes das restrições (necessidades/demandas e produção/disponibilidade) (Lachtermacher, 2002). Contudo, na realidade muitas vezes não se tem certeza destes valores, portanto é importante saber quanto a solução otimizada depende de uma determinada constante ou coeficiente. Se for constatada uma grande dependência, deve-se tomar grande cuidado. Para reduzir essa incerteza, realiza-se uma análise pós-otimização onde verifica-se a influência da variação de cada coeficiente da função objetivo e de cada constante e coeficiente das restrições na solução ótima. Este estudo é denominado de Análise de Sensibilidade. A seguir será descrita a teoria por trás da formulação do modelo desta tese.

5.2.2 Programação Linear Inteira

Conforme Lachtermacher (2002), os problemas de Programação Linear Inteira são problemas matemáticos em que uma ou mais variáveis de decisão são representadas por valores inteiros e a função objetivo e restrições continuam sendo lineares. Esta é uma exigência do modelo desta tese, pois produtos e veículos não podem ser divididos. Matematicamente, um problema de Programação Linear Inteira pode ser descrito da seguinte forma (Equação 2):

$$\text{Otimizar: } z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \leq \\ = \\ \geq \end{array} \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{array} \right.$$

x_1, x_2, \dots, x_n são inteiros

onde:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

$$g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{in} x_n \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

Existem vários métodos específicos para obtenção de solução inteira exata de um problema de Programação Linear (Goldbarg e Luna, 2000). O algoritmo Branch and Bound é o procedimento mais usado na resolução deste tipo de formulação (Lachtermacher, 2002). Este método baseia-se em enumerar um número inteligente de pontos candidatos à solução ótima inteira, tendo como limite a resposta ótima do problema linear não inteiro (Goldbarg e Luna, 2000). Ele efetua partições no espaço de soluções, dividindo o problema maior em outros menores de mais fácil solução.

Nesta tese propõe-se um problema de alocação de cargas multiperíodo, semelhante ao carregamento do setor aéreo, e não um problema típico de roteirização como ocorre na maioria dos estudos de logística rodoviária. Portanto, sua resolução será realizada através de otimização discreta (veículos e cargas inteiras), através de Programação Linear Inteira, sendo desenvolvida em seguida Análise de Sensibilidade através de Programação Linear não inteira com o relaxamento da restrição de integralidade.

6 MÉTODO DE TRABALHO E DESCRIÇÃO DA LOGÍSTICA DE JORNAIS E E-COMMERCE

Este capítulo compreende as etapas preliminares necessárias para elaboração do modelo, composto pela metodologia a ser desenvolvida, pela descrição da logística de jornais e produtos de e-commerce e pela análise do comportamento operacional e financeiro da mesma.

6.1 METODOLOGIA

Este subcapítulo apresenta as 11 etapas metodológicas para o desenvolvimento da presente modelo. Em cada etapa serão descritos os procedimentos executados, seus objetivos, insumos e produtos. A Figura 21 apresenta o fluxograma sequencial com as relações entre as etapas do trabalho.

A primeira etapa trata da descrição da distribuição física conjunta de jornais e produtos de e-commerce, detalhando seus stakeholders, seu fluxograma de distribuição com os diversos tipos de veículos, suas características, processos sequenciais de trabalho e seu comportamento operacional.

Conhecendo-se bem a rede descrita, é possível caracterizar o problema (Etapa 2) desta tese que consiste na redução da ociosidade da frota e aumento de sua lucratividade sob o enfoque do operador logístico. Então parte-se para as perguntas relevantes a serem respondidas (Etapa 3) pelo modelo. Para obter as respostas dessas perguntas identificam-se as variáveis necessárias que contenham no modelo (Etapa 4). Parte-se para o levantamento de dados operacionais e financeiros similares à realidade (Etapa 5), comentando-se o seu comportamento.

De posse das perguntas a serem respondidas, das variáveis necessárias, e dos dados, estuda-se na literatura as diversas ferramentas de modelagem possíveis de serem utilizadas (métodos de simulação e otimização logística), escolhendo-se a mais adequada para este caso (Programação Linear Inteira) (Etapa 6). Ao escolher-se o método de modelagem, é possível a criação de sua formulação matemática respectiva (Etapa 7).

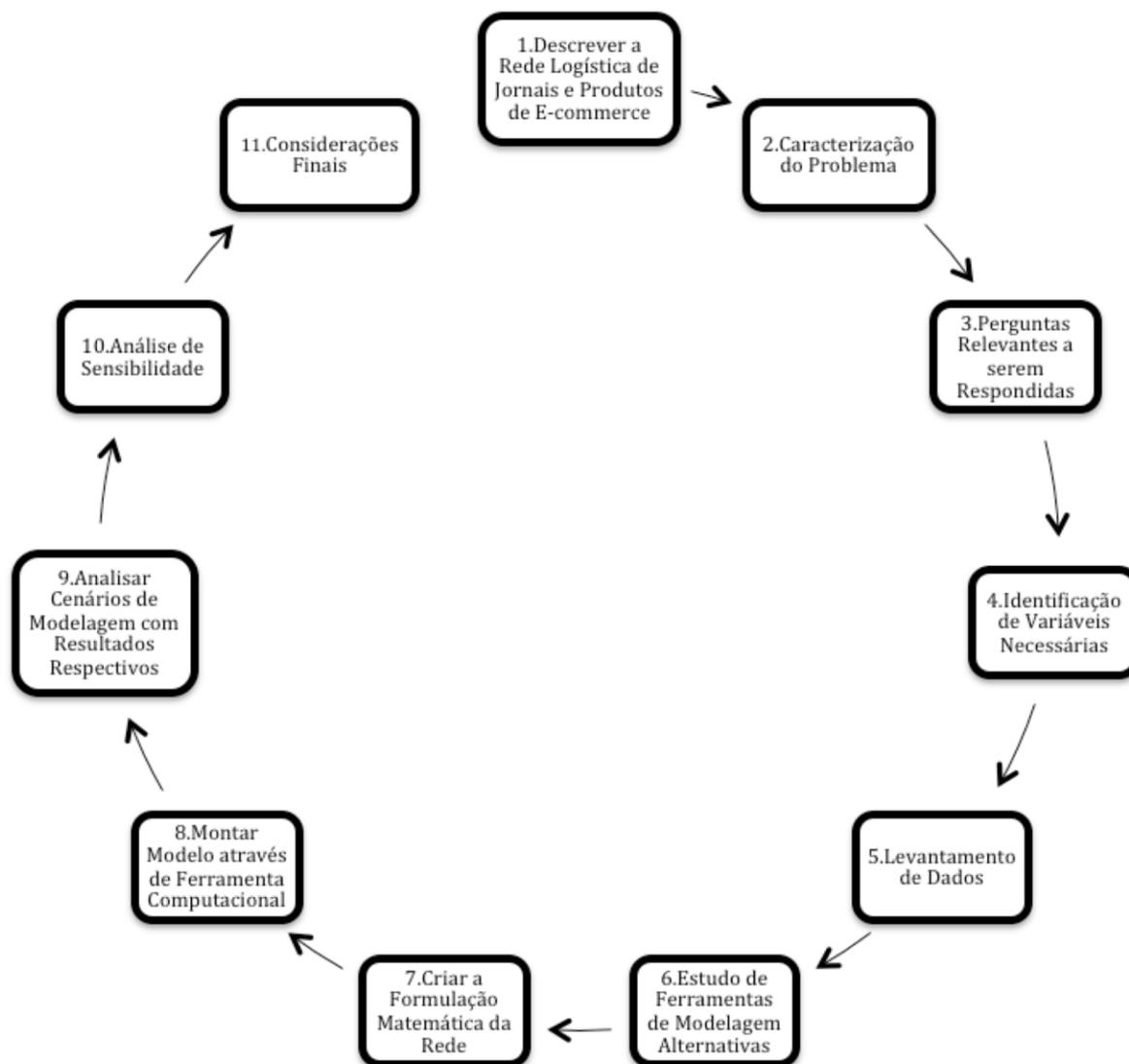


Figura 21: Fluxograma com Etapas da Metodologia (Fonte: Elaborado pelo Autor).

Após a formulação matemática constituída e consolidada, é possível a montagem da modelagem na ferramenta computacional escolhida (software Matlab®) com seu funcionamento correto e calibrado (Etapa 8). Xiong (2013) e Qin and Ding (2011) colocam como vantagens do Matlab® os cálculos matemáticos, gráficos, processamento e design de formulação, computação numérica eficiente, e facilidade de uso. O software suporta pacotes contínuos e discretos com funções lineares e não-lineares com diferentes amostras. Provê uma janela de modelagem ao usuário, com facilidade semelhante ao uso de papel e caneta, fazendo a modelagem mais intuitiva, conveniente e flexível.

Depois da obtenção, funcionamento e calibração do modelo no software Matlab®, é possível a análise de estudo de caso, por meio de diversos cenários operacionais, táticos e estratégicos (Etapa 9). Permitindo a análise de sensibilidade das variáveis e seus resultados (Etapa 10), a partir dos objetivos do estudo e das necessidades da rede. Por fim, após a análise minuciosa, chega-se às considerações finais e conclusões desta tese (Etapa 11).

6.2 DESCRIÇÃO DA LOGÍSTICA DE JORNAIS E PRODUTOS DE E-COMMERCE

A descrição da logística compartilhada de jornais e produtos de e-commerce é o que suporta o modelo desta tese. Com o incremento da internet nos últimos anos, a venda de jornais impressos tem reduzido em todo o mundo, este mesmo fenômeno também é observado no Brasil. Portanto, alguns operadores de jornais estão buscando aumentar a produtividade de sua distribuição logística incluindo a entrega casada de produtos de e-commerce. O mercado de e-commerce, ao contrário do mercado de jornais, tem aumentado exponencialmente a cada dia.

A entrega casada de jornais e produtos considera roteirizações com janelas de tempo, a existência de múltiplos depósitos e premissas estocásticas. A entrega com janelas de tempo inclui a restrição de um intervalo de tempo previamente definido (sem violação de tempo denominado *hard* ou com a violação e penalidades chamado *soft*). A existência de múltiplos depósitos direciona quais clientes são servidos por quais depósitos (particionamento dos clientes). A premissa estocástica considera a existência de incertezas, tais como: os clientes serem atendidos ou não; quantidades variadas, e; tempos variados de viagem e de parada nos clientes.

O operador de logística é a empresa prestadora de serviços rápidos, especializada em gerenciar e executar todas ou parte das atividades logísticas por meio de serviços terceirizados de rotas de transporte e centros de distribuição. Esse serviço envolve vários *stakeholders* (Bruno et al., 2015), conforme a Figura 22, sendo cinco os principais (Taniguchi et al., 2012): Clientes, Produtores, Transportadores, Administradores (neste estudo podem ser considerados como Governo) e os residentes da região de entrega que não aparecem na Figura 22.



Figura 22: Stakeholders envolvidos na Logística de Jornais e E-commerce(Fonte: Elaborado pelo Autor).

Os clientes desejam alto nível de serviço e qualidade com bons custos, os produtores de produtos e jornais buscam minimizar os seus custos na cadeia de suprimentos, os transportadores/operadores de CDs/distribuidores procuram satisfazer as janelas restritas de tempo, os residentes desejam silêncio e ar puro, e os administradores/governo buscam arrecadar impostos, ativar a vitalidade da cidade e a sustentabilidade dos sistemas de transporte.

A Figura 23 resume o funcionamento da distribuição física de Jornais e e-commerce típica brasileira denominada de sistema compartilhado. No sistema compartilhado existe um remetente e vários destinatários atendidos a partir do centro de distribuição. Ocorrem grandes distâncias de transferência por veículos pesados a partir da origem com intermédio de centros de distribuição, e entrega final por veículos leves e de média capacidades. Algumas perguntas importantes a serem respondidas em relação ao Sistema Compartilhado são (Novaes, 1989):

- Como dividir a região de atendimento em zonas?
- Como selecionar o veículo/tripulação mais adequado ao serviço?
- Qual a quilometragem média da frota e os diversos tempos associados ao serviço, de forma que seja possível quantificar os custos?
- Dadas as várias possibilidades, como selecionar a configuração mais adequada?

Na Figura 23 é mostrado um exemplo de distribuição de um Operador Logístico de maneira a facilitar seu entendimento e análise. Essa distribuição complexa envolve a distribuição terceirizada de jornais e produtos de e-commerce, constituída pelos modos: rodoviário (caminhões, veículos leves e motos); bicicleta; a pé; aéreo, e; hidroviário. A relação de terceirização/parceria é regida por diversos contratos bilaterais entre Operador Logístico e transportadores/operadores de CDs terceirizados. Este exemplo é composto basicamente por 12 etapas, destacadas com numeração de 1 a 12 na Figura 23, estas serão descritas resumidamente a seguir:

1. Carregamento de Produtos

A primeira etapa da distribuição inicia com a compra dos clientes finais, geralmente pela internet/web (e-commerce). Após a aprovação do pagamento, o pedido é oficializado. Esse pedido é enviado para a área de expedição onde acontece a recepção do pedido, separação da mercadoria, registro no sistema, etiquetagem do produto, e carregamento das cargas nos caminhões. Essas atividades não são de responsabilidade do Operador Logístico e sim do embarcador (cliente - grande varejista), apesar de influenciar nas atividades e nos prazos de entrega.

2. Transporte até o CD Central

Este transporte antes do CD Central é feito por empresa transportadora terceirizada contratada pelo Operador Logístico. A partir deste momento a responsabilidade é do Operador Logístico. Ele recebe do cliente varejista o valor do frete por mercadoria transportada. O preço cobrado pelo serviço depende da localidade de entrega (Estado, Região Central, Interior) e do peso da encomenda. Geralmente são viagens com caminhões grandes tipo Carreta Baú (25ton).

O custo desse transporte é bastante impactante no resultado final do Operador Logístico, pois o custo operacional destas carretas é elevado (combustível, motorista e manutenção) e a distância de viagem pode ser grande.

Devido aos prazos contratuais apertados do embarcador com os clientes finais, essas viagens são obrigatoriamente realizadas diariamente. Portanto em dias que os veículos saem vazios, tem-se prejuízo. Nos dias que existe muita carga, é necessário a

colocação de caminhões extras, fazendo com que andem ociosos, gerando outras perdas para o Operador Logístico.

3. *Cross-Docking* CD Central

A ideia das redes logísticas atuais é reduzir ao máximo o custo e o tempo de armazenamento, havendo uma mudança do processo de estocagem intermediário pelo *Cross-Docking* (ou realocação/remanejamento rápido da carga). Diariamente, as carretas carregadas com carga de produtos (mercadoria de e-commerce) são recebidas no CD Central. Junto às carretas é instalada uma esteira, por onde descarregam-se os pacotes. Cada etiqueta de cada mercadoria é bipada e registrada no sistema. Dessa forma, confere-se se todos os volumes agendados que chegaram. Depois é realizada uma primeira separação por região de destino final.

Logo é realizada uma segunda separação dos volumes, separando-os por rotas e CDs de destino. São informadas as quantidades/pesos para o Setor de Transporte (com funcionários do Operador Logístico) que planeja o tamanho dos caminhões das rotas. O Setor de Transporte é uma espécie de Centro de Controle de Operações - CCO, centralizando todas as informações de carregamento e transporte de cargas, desde o CD Central até a chegada aos municípios finais de entrega. As transportadoras são terceirizadas e muitas vezes não possuem disponibilidade de caminhões maiores.

O procedimento é um pouco distinto para cargas da Região Central e cargas do Interior. As mercadorias com destino na Região Central são levadas para o escritório do transportador encarregado, este faz um segundo *cross-docking* diretamente para os veículos de suas rotas a serem entregues no dia seguinte. Já as mercadorias com destino ao Interior do Estado são carregadas nos caminhões das rotas de jornais respectivas.

4. Transporte do CD Central até o CD Auxiliar

Após o carregamento dos caminhões no CD Central com produtos (e-commerce) com destino ao Interior do Estado, os veículos seguem diariamente para o CD Auxiliar (Indústria Gráfica). Este transporte é realizado pelos veículos que efetuarão as rotas Pré-CDs do Interior, tratam-se de caminhões de 3,5ton a 12ton de capacidade.

Os caminhões ficam aguardando estacionados nas docas o carregamento de Jornais. Nesta operação todos os transportadores são terceirizados. Esse deslocamento realizado muito antes da hora final de viagem gera um passivo trabalhista grande para os operadores, já que as jornadas finais acabam ultrapassando muito as 8hs diárias.

5. Carregamento dos Caminhões no CD Auxiliar

Após o encerramento da redação do Jornal, então começa a impressão do mesmo. Uma hora depois, a carga de Jornais tem seu carregamento iniciado com auxílio de processo mecanizado através de esteiras rolantes até as docas onde estão os caminhões. As esteiras descem até dentro do baú dos caminhões, tendo o motorista somente a tarefa de conferir e acondicionar a carga dentro do veículo até o seu completo carregamento. As localidades de destino mais distantes são carregadas primeiro, seguidas das mais próximas.

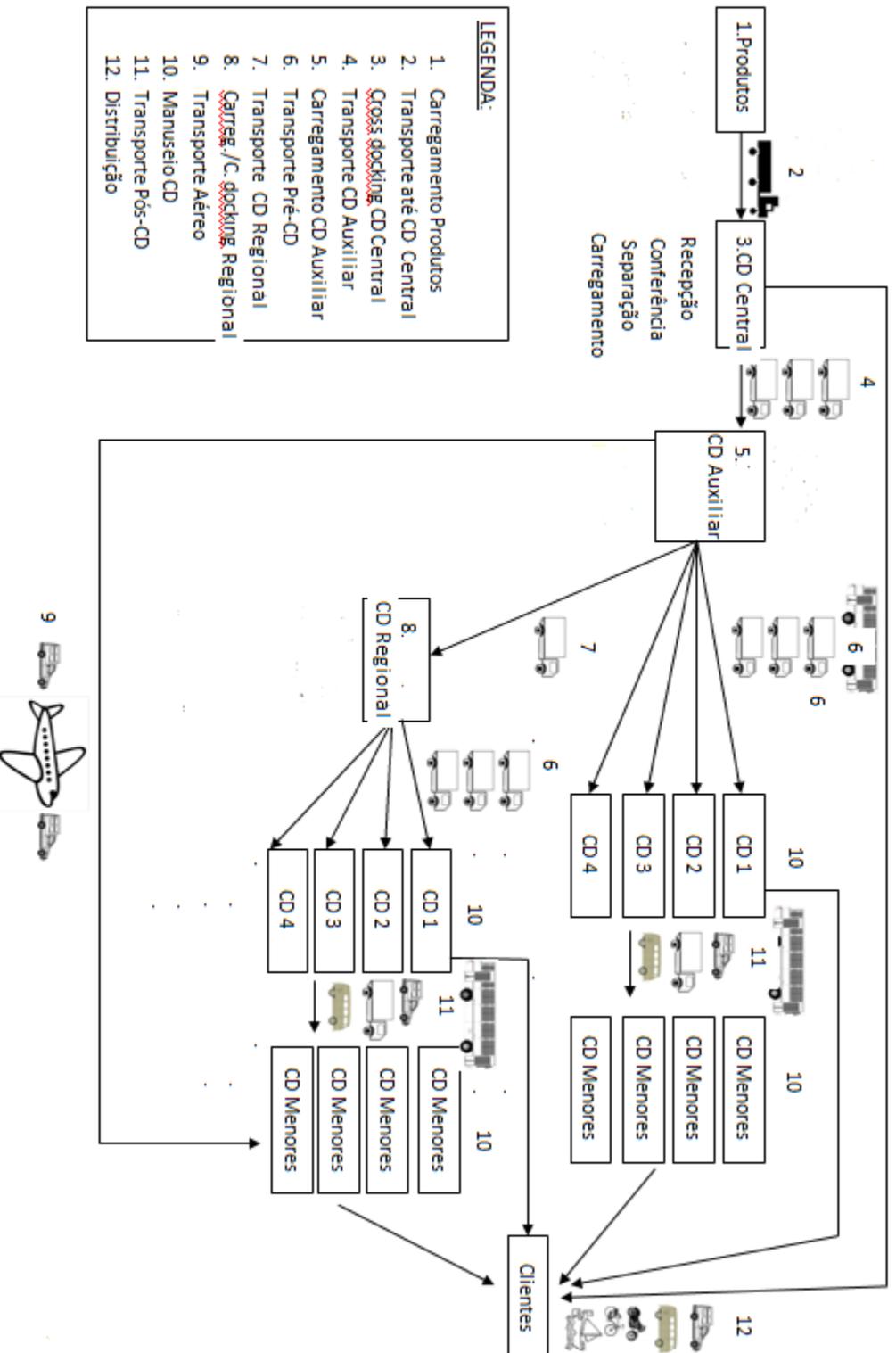


Figura 23: Exemplo de Distribuição Terceirizada de Jornais e E-commerce Brasileira (Fonte: Elaborado pelo Autor).

6. Transporte Pré-CD

Devido ao fato do serviço de transporte ser realizado por várias empresas terceirizadas, a tarefa de programar, operar, coordenar e centralizar as informações torna-se bastante complexa. Cada relação entre Operador Logístico e Transportadora é regulado por contrato bilateral. Esse serviço é de máxima importância para o cumprimento das apertadas janelas de entrega e representa aproximadamente um terço dos custos totais de transporte.

O desafio do Setor de Transporte é cumprir todos os horários e prazos de entrega maximizando a ocupação dos veículos com menor custo possível. Se os veículos ultrapassarem sua capacidade de peso, deve-se alocar veículos maiores ou veículos extras na(s) rota(s), ou trocar os veículos entre as rotas quando possível (se forem do mesmo operador terceirizado). O fator tempo e custo são preponderantes sobre o fator de qualidade de transporte e de veículos. O transporte é pago ao transportador terceirizado por capacidade de veículo (4t, 7t, 12t) e quilometragem rodada de ida e de volta.

Após o carregamento de produtos (e-commerce) no CD Central e Jornais no CD Auxiliar (Indústria Gráfica), os caminhões carregados seguem diariamente suas rotas. A saída das rotas mais distantes inicia-se primeiro. Esses caminhões seguem respectivamente rotas distintas com destino à Região Central e Interior do Estado, parando nos CDs para desembarque. Uma mesma rota pode possuir de 1 a 3 CDs em seu itinerário, incluindo ainda outros pontos intermediários de desova.

Os horários exatos de saída e chegada e os tempos de viagem são controlados com rigor pelo Setor de Transportes por meio de GPS e contato com CDs de destino para cada rota e ponto de desembarque. O cumprimento de horários é uma obsessão quando trata-se de cargas expressas, sendo passível de punição ao transportador caso descumpra o acordado sem a devida justificativa.

Existem ainda alguns locais que recebem poucas entregas onde o transporte pré-CD é realizado por rotas fixas de ônibus. Neste caso, um veículo leva as entregas até a estação rodoviária, e os horários de saída e chegada dos ônibus são também controlados pelo Setor de Transportes.

O Setor de Transporte além de receber forte pressão para o cumprimento dos carregamentos e horários, sofre com três grandes problemas que são: o passivo trabalhista dos operadores terceirizados devido à extrema jornada de trabalho diária dos motoristas (12 a 14hs por dia); o elevado risco de acidentes reflexo do cansaço dos mesmos, e; risco de roubos e assaltos de cargas durante o transporte, carregamento e descarregamento.

O mesmo processo de transporte descrito com saída do CD Auxiliar (Indústria Gráfica) pode se repetir em um CD Regional (Indústria Gráfica Secundária).

7. Transporte para CD Regional

O transporte Pré-CD ocorre durante a madrugada. Contudo, existe um único transporte Pré-CD que é realizado durante o dia, com passagem pelo CD Central (para carregamento de produtos de e-commerce) e saída do CD Auxiliar (após carregamento dos cadernos internos dos jornais na Indústria Gráfica) chegando ao CD Regional (Indústria Gráfica Secundária).

Este transporte geralmente é realizado por um caminhão com capacidade maior, e sua carga destina-se a outra região não atendida pela Indústria Gráfica Principal. Trata-se de um serviço vital para o bom funcionamento da distribuição de produtos e jornais, não podendo ocorrer atrasos. Por isso, é realizado um forte monitoramento do mesmo por meio de GPS e do controle dos horários de saída e chegada. Muitas vezes, devido ao elevado volume de produtos transportados, é necessário a alocação de veículo extra nesta rota.

8. Descarregamento, *Cross-docking* e Carregamento no CD Regional

No CD Regional (Indústria Gráfica Secundária), o caminhão proveniente da Indústria Gráfica Principal descarrega primeiramente os cadernos internos do Jornal para serem encartados na capa a ser impressa em seguida. Depois o veículo segue para a garagem do transportador responsável pelas rotas Pré-CDs regionais com os produtos de e-commerce. É realizado o *cross-docking* (nova separação) dos produtos a serem distribuídos para a outra parte Oeste do Estado.

Os caminhões das rotas regionais retornam carregados com os Produtos de e-commerce para o CD-Regional para esperar a conclusão e carregamento dos jornais inteiros encartados. Após a conclusão da redação, no mesmo horário da Indústria Gráfica Principal, inicia-se a impressão e o posterior carregamento de Jornais completos. Então os caminhões das rotas Pré-CDs regionais vão saindo carregados seguindo para seus destinos. As rotas mais distantes tem carregamento e saída anterior aos demais.

9. Transporte Aéreo

Os produtos de e-commerce e jornais podem ser enviados pelo modo aéreo, pois a distância para entrega é longa e a janela de tempo pequena. Este transporte funciona da seguinte forma: um veículo pequeno de um transportador terceirizado coleta diariamente na Indústria Gráfica as mercadorias e leva para o terminal de cargas do aeroporto onde é embarcado nos primeiros voos regulares do dia. Na cidade de destino, um outro veículo pequeno coleta e leva para um pequeno CD, a partir de onde estes produtos são distribuídos aos clientes finais e pontos de venda. O custo unitário de entrega de um produto transportado por via aérea pode chegar a 20 vezes o valor de uma entrega típica.

10. Manuseio/Distribuição nos CDs

Após a chegada dos caminhões nos CDs do Interior, os mesmos são desembarcados. Os produtos de e-commerce são registrados individualmente no sistema pela leitura de seu código de barras, esta servirá para o rastreamento do mesmo. Os produtos de e-commerce e jornais são separados por rotas de destino (realização de novo cross-docking) e acondicionados pelos funcionários do CD e entregadores. Neste momento, parte dos produtos de e-commerce e jornais são enviados para CDs menores em outras cidades (através do transporte denominado de Pós-CD), seguindo viagem em veículos menores e ônibus. Após a conclusão dessas tarefas, os entregadores saem para suas rotas de entrega.

Toda a estrutura dos CDs também é terceirizada. Os CDs podem ser de grande porte ou no formato de pequenos escritórios. A estrutura dos CDs é básica, sem a existência de equipamentos para manuseio e embarque/desembarque de cargas. O elevado trabalho braçal e a longa jornada de trabalho geram passivos trabalhistas e

problemas como furtos/extravios de mercadorias. Trata-se de um ponto chave a ser melhorado no sentido de uma maior padronização, rastreamento das encomendas, aumento de produtividade e monitoramento eletrônico das atividades com consequentes reduções dos prazos e erros nas entregas.

11. Transporte Pós-CD

O transporte Pós-CD é realizado após o cross-docking nos CDs maiores do Interior do Estado. Possui funcionamento semelhante ao Transporte Pré-CD, contudo o volume de mercadorias transportadas nos veículos é bem menor. Pode ser realizado pelos veículos dos próprios CDs, ao contrário do transportes Pré-CD que geralmente é efetuado por transportadoras especializadas terceirizadas. Os veículos são de menor porte (vans, kombis, caminhonetes e automóveis), assim como também existe o transporte Pós-CD realizado por ônibus para cidades com pequenos números de volumes.

Após a chegada dos veículos do Transporte Pré-CD aos CDs, os produtos de e-commerce e jornais são diretamente transbordadas para os veículos das rotas Pós-CDs. Este processo de transbordo não pode ter falhas com atrasos ou problemas mecânicos de veículos, caso contrário as mercadorias terão sua entrega atrasada. Os horários de saída dos CDs maiores e de chegada nos CDs menores são todos monitorados pelos CDs responsáveis pelo serviço, e repassados ao Setor de Transporte caso necessário/solicitado. Pode haver troca de veículos entre rotas pós-CDs dependendo da quantidade de cargas.

Algumas vezes podem ocorrer problemas de excesso de cargas nas rotas Pós-CDs, neste caso é necessário a troca de veículos por maiores, ou atraso das entregas de produtos de e-commerce. Outras rotas possuem problemas com infraestrutura das estradas, sendo preciso a realização do transporte com caminhonetes ou motocicletas. Muitos transportadores do transporte Pós-CD trabalham na informalidade, outros ultrapassam as horas da jornada diária legal, e a maioria ultrapassa os limites de velocidade permitida. Neste caso trata-se de um grande passivo trabalhista dos CDs/Operador Logístico.

A tarefa de transporte Pós-CD também é remunerada por km rodado, contudo os valores são menores do que os do transporte Pré-CD, já que os veículos são menores. Por isso, hoje pensa-se em formas de substituir trechos Pré-CDs por transportes Pós-CDs de menor custo, contudo perde-se em qualidade e monitoramento, já que o transporte não é a especialidade (*core bussiness*) dos CDs.

12. Distribuição

A distribuição é a parte mais complexa da entrega porta a porta. Ela é realizada pelos CDs terceirizados em dois momentos diários. Um momento com entregas de jornais com janelas de tempo mais justas pela madrugada e manhã. Em seguida, segue o momento das entregas de produtos de e-commerce. Existem casos que os mesmos entregadores de jornais entregam também produtos de e-commerce, o que representa grande passivo trabalhista do sistema pela elevada e desgastante jornada de trabalho. Cada entregador de jornais distribui até 300 entregas por dia, e cada entregador de produtos de e-commerce leva 10 a 15 produtos por dia.

A roteirização da entrega dos jornais diariamente é a mesma, apesar de uma pequena parte das entregas mudarem de destino. Essas rotas iniciam de forma empírica e são aperfeiçoadas de tempos em tempos através do uso de softwares de roteirização, principalmente nas grandes cidades. Apesar disso ainda existem rotas que se cruzam, o que expõe a necessidade de maior otimização.

As entregas de jornais são feitas em função de uma listagem impressa diariamente para cada entregador com os endereços de entrega, conforme preferência dos clientes. Os clientes podem especificar locais de entrega tais como cidade, endereço, e local de deposição (na garagem ou porta de casa). Se o jornal não for entregue a contento, existe uma equipe reduzida de reposição que leva novamente a mercadoria ao cliente.

As rotas de entrega de produtos de e-commerce são montadas diariamente de forma empírica pelos CDs em função dos endereços de entrega. O entregador recebe uma planilha impressa com os endereços de destino. Caso não exista ninguém para o recebimento a mercadoria entra na lista de entrega do próximo dia. Esse processo é repetido três vezes até o recebimento pelo cliente.

A distribuição é a etapa que envolve o maior número de pessoas, sendo dezenas de milhares de jornais por dia e alguns milhares de produtos de e-commerce. Geralmente os produtos são entregues possuindo janelas de tempo mais justas em cidades maiores, e janelas maiores em cidades menores. A distribuição é composta por todos os tipos de modalidades, dependendo das características de relevo/geográficas das localidades (a pé, bicicleta, motocicleta, automóvel, caminhonete, kombi/vans, e até de barco). Nesta fase estão concentrados os maiores problemas da operação, bem como as maiores causas de insatisfação dos clientes (pelo horário de entrega e condições das encomendas).

No processo de distribuição acontecem diariamente muitas situações monitoradas pelo Operador Logístico que são: problemas mecânicos dos veículos; ausência de entregadores das rotas e sua substituição por funcionários que desconhecem as tarefas; reclamações de clientes; reposições de jornais; retornos para entregas de produtos de e-commerce; acidentes de trânsito; furtos de mercadorias; etc. Essa etapa possui grande incidência de furtos de mercadorias, devido a sua dificuldade de controle, grande número de atores envolvidos e elevado tempo que a mercadoria fica sob a posse do entregador sem o monitoramento.

A distribuição é vital para a satisfação dos clientes, pois é principal momento de interação do cliente com a empresa, onde torna-se importante o tratamento do entregador (educação, polidez, e apresentação pessoal). Inovações nesta tarefa são essenciais no futuro, tais como novos modos de transporte, agendamento de entregas, rastreamento dos veículos pelos clientes, etc.

Após a descrição de toda a distribuição logística de produtos de e-commerce e jornais destacam-se os processos de: Cross-docking, essencial para a agilidade da movimentação de cargas e reduções de tempos e custos com estoque; serviços de Transporte Pré e Pós-CDs terceirizados, com maior rapidez, baixo custo e pequena manutenção; carregamento mecanizado ágil de jornais nos caminhões; CDs Regionais terceirizados, com operação independente, com equipe otimizada; Distribuição aos Clientes Finais com janelas de tempo apertadas; sistema informatizado centralizado robusto e operado em tempo real; uso de leitores de códigos de barras; e contratos

bilaterais particionados de parceria entre Operador Logístico, transportadores e CDs terceirizados.

6.3 COMPORTAMENTO OPERACIONAL E FINANCEIRO DA DISTRIBUIÇÃO

Para a avaliação do comportamento operacional e financeiro da rede de logística de jornais e e-commerce considerou-se o conceito de lucratividade. Para tanto, devido à complexidade da rede descrita na Figura 23, focou-se na avaliação do transporte Pré-CD.

Portanto, resumidamente a lucratividade é composta por um termo ligado à receita arrecadada com o serviço (valor fixo cobrado por produto entregue) e outro ligado ao custo despendido (dependente do tamanho do caminhão e da distância de viagem) (Equação 3).

$$\text{Lucratividade} = \sum_{g=1}^x \sum_{h=1}^b V_{gh} * Q_{gh} - \sum_{i=1}^q \sum_{h=1}^b C_i * x_{ih} * d_h \quad (3)$$

em que V_{gh} : valor recebido para entrega do produto g [R\$] para cada rota h;
 Q_{gh} : quantidade de produtos g para cada rota h;
 C_i : custo fixo do transporte terceirizado do veículo i [R\$/km];
 x_{ih} : quantidade de veículos do tipo i para cada rota h;
 d_h : quantidade de km rodados de cada rota h.

Partindo-se dessa premissa, seguiu-se para a análise de dados baseados em condições realistas mensais de lucratividade comparada à ocupação média de uma unidade de veículo (Figura 24). Quando a ocupação chega a 100%, a mesma equivale à capacidade total de uma unidade de veículo operando em cada rota de transporte Pré-CD. Para o cálculo do percentual de ocupação, optou-se pelo parâmetro peso em kg ao invés do volume, pois é um parâmetro registrado em nota fiscal de mais fácil controle, além disso a limitação de capacidade ocorre em função do limite de peso dos veículos, e não do volume já que o jornal possui elevada densidade. Considera-se também que as dimensões dos baús dos caminhões (volumes) são variáveis, mas a capacidade em peso possui pequena variação sendo limitada pela legislação.

É evidente que, para valores de ocupação média mensal inferiores à capacidade de um veículo, a lucratividade (Ebitdap% - lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização) aumenta com o incremento da ocupação (meses de Maio a Outubro na Figura 24). Contudo, quando ela passa de 100% da capacidade de um veículo, ou seja,

quando a ocupação ultrapassa a capacidade em muitos dias do mês (a partir do mês de Novembro com aumento considerável das vendas de Natal), é necessário o uso de veículos extras e a lucratividade sofre uma redução considerável. Conforme pode ser observado nos meses de Novembro e Dezembro na Figura 24, o aumento de produtos transportados não está diretamente relacionado com o aumento de lucratividade. Esse fato ocorre em função de uma desfavorável relação entre ocupação e capacidade (mês de Dezembro onde existem 2 veículos com capacidade somada de carga de 200% e ocupação de 130%, ou seja, um veículo ocupado 100% e outro ocupado 30%).

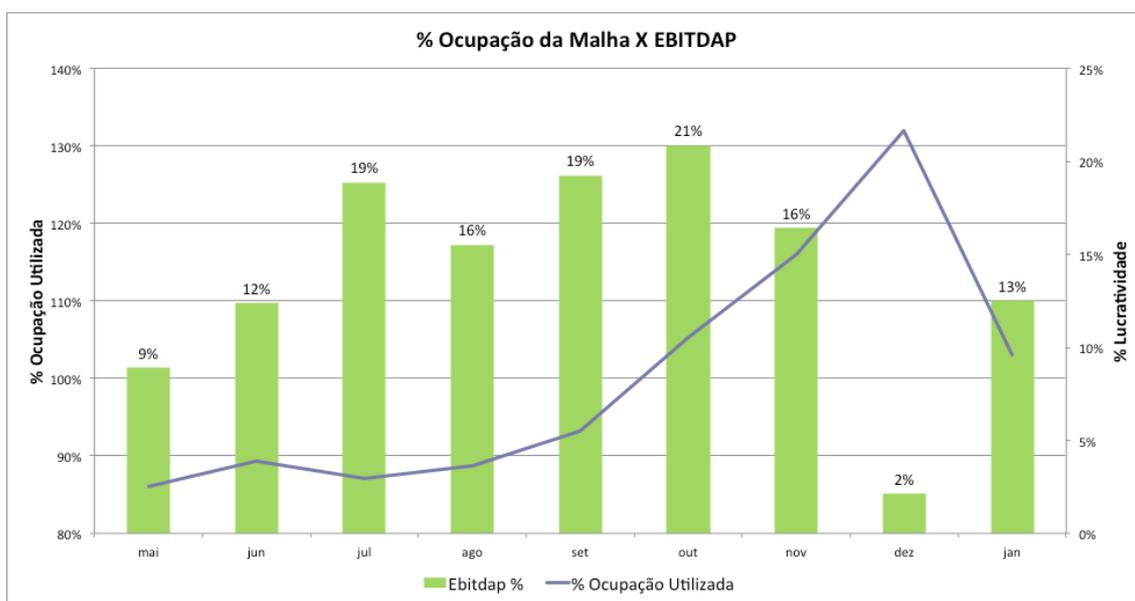


Figura 24: Percentual de uso da ocupação do sistema versus lucratividade.

Usando-se a análise apresentada anteriormente na Equação 3 e dados baseados em condições realistas de um Operador Logístico, mantendo-se o mesmo mix de clientes e produtos de uma rota específica, foi possível montar o gráfico apresentado na Figura 25. Nesta figura, simula-se a lucratividade em função de ocupações utilizadas. Observa-se que a inclusão de um novo veículo no serviço somente é justificada quando o mesmo apresentar pelo menos 55% de sua capacidade ocupada. Este pode ser chamado de "ponto de equilíbrio do negócio". É importante ressaltar que o ponto de equilíbrio é função do mix de produtos, do tipo de veículo e das distâncias percorridas nas rotas.

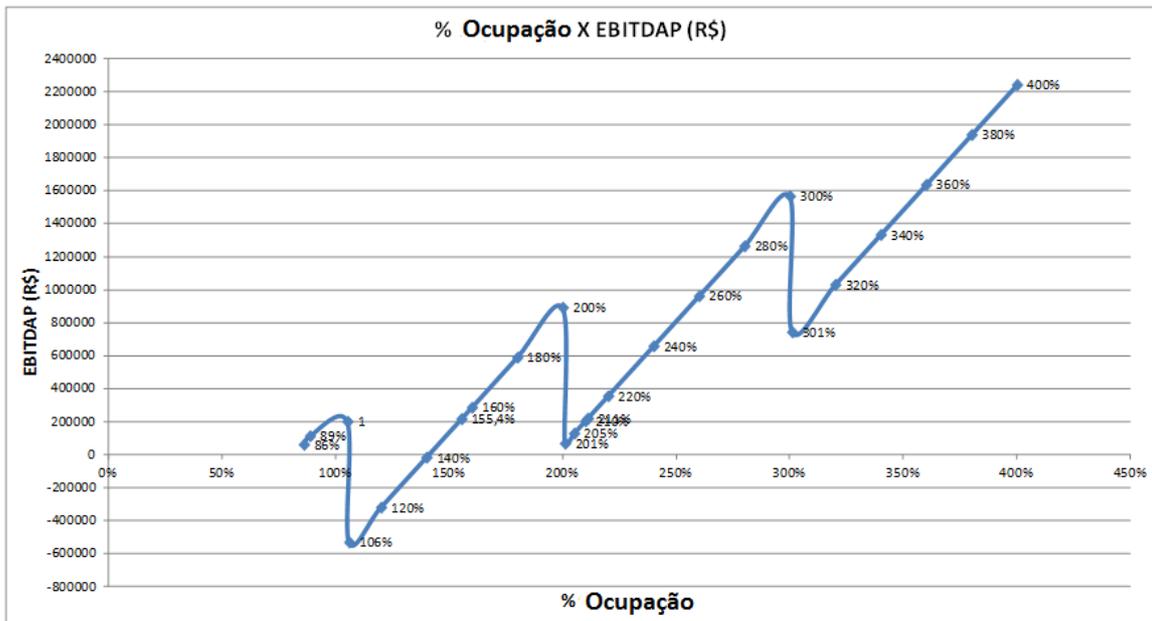


Figura 25: Simulações de capacidade utilizada versus lucratividade.

7 MODELAGEM MATEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE JORNAIS E E-COMMERCE

A seguir será descrito o modelo matemático de lucratividade da rede logística de jornais e produtos de e-commerce descrita no item 6.2. Segundo Strandenes (2013) este modelo pode ser denominado de Modelo Real de duas partes (receitas e custos) com fatores fixos e variáveis componentes. Em um primeiro momento discute-se o modelo completo estático no tempo com todas suas variáveis, de forma a representar toda a rede descrita e guiar a um segundo momento, onde discute-se o modelo multiperíodo (abrangendo a grandeza temporal) com caráter reduzido considerando somente o transporte Pré-CD. Este último será usado para elaboração das análises desta tese.

7.1 FORMULAÇÃO COMPLETA DA DISTRIBUIÇÃO FÍSICA

O modelo de Lucratividade do Operador Logístico (Equação 4), tem como intuito principal quantificar o lucro do operador considerando as diversas condições operacionais e contratuais do serviço de transporte e de distribuição descrita. Neste contexto o modelo é baseado basicamente em duas partes que são as receitas e as despesas, sendo sua função objetivo maximizar a lucratividade do Operador Logístico considerando rotas e frotas fixas. Portanto, exclui-se a questão da alocação (mudança de rotas).

Como trata-se do transporte e distribuição de jornais e produtos de e-commerce, este modelo considera separadamente os dois tipos de mercadorias transportadas. A primeira parte do modelo refere-se à função objetivo a qual descreve a receita. A receita de jornais é composta pelo somatório do produto do V_{kj} (valor recebido do cliente k para entrega do jornal j [R\$]) vezes Q_{kj} (quantidade de jornais j do cliente k). A receita relativa a entrega de produtos é calculada da mesma forma, somatório de V_{kg} (valor recebido do cliente k para entrega do produto g [R\$]) multiplicada por Q_{kg} (quantidade de produtos g do cliente k). A receita total é calculada somando-se as partes relativas a jornais com a relativa a produtos. Como a equação quantifica a lucratividade, todos os itens relativos à receita são positivos, enquanto aqueles vinculados aos custos são negativos.

Em relação aos custos, a primeira parte refere-se ao custo do transporte interestadual, este é constituído pelo somatório do produto de três termos: C_{ima} (custo fixo do transporte terceirizado do veículo i para cada rota interestadual m do transportador terceirizado a [R\$/km]), X_{ima} (quantidade de veículos do tipo i para cada rota interestadual m do transportador terceirizado a) e d_m (quantidade de km rodados de cada rota interestadual m). É importante salientar que no transporte interestadual circulam somente produtos de e-commerce, pois os jornais não utilizam estas rotas.

O segundo termo de custos que é compartilhado tanto por jornais quanto produtos é relativo ao transporte Pré-CD. Ele é composto pelo somatório do produto do C_{iha} (custo fixo do transporte terceirizado do veículo i para cada rota Pré-CD h do transportador terceirizado a [R\$/km]) vezes X_{iha} (quantidade de veículos do tipo i para cada rota Pré-CD h do transportador terceirizado a) vezes d_h (quantidade de km rodados de cada rota Pré-CD h).

O terceiro termo de custos que também é compartilhado entre jornais e produtos é o relativo ao transporte Pós-CD. Formado pelo somatório do produto do C_{ina} (custo fixo do transporte terceirizado do veículo i para cada rota Pós-CD n do transportador terceirizado a [R\$/km]) vezes X_{ina} (quantidade de veículos do tipo i para cada rota Pós-CD n do transportador terceirizado a) e vezes d_n (quantidade de km rodados de cada rota Pós-CD n).

O quarto item de custos refere-se à distribuição ao cliente final, este é separado para jornais e produtos. É composto pelo somatório do produto entre Z_{dkg} (valor pago ao distribuidor d para entrega do cliente k do produto g [R\$]) ou Z_{dkj} no caso de jornais vezes Q_{kg} (quantidade de produtos g do cliente k) ou Q_{kj} no caso de jornais.

A quinta parte relativa a custos abrange o prejuízo com roubos e extravios, também calculado separado para produtos e jornais. É elaborado pelo somatório do produto entre Y_{kj} (valor de venda do jornal roubado/extraviado j do cliente k [R\$]) ou Y_{kg} no caso de produtos de e-commerce vezes f_j (quantidade de jornais j roubados/extraviados) ou f_g no caso de produtos.

A sexta parte de custos do modelo abrange os gastos com impostos, também apurada distintamente entre produtos e jornais. Esta fração é calculada a partir do somatório do produto entre V_{kj} (valor recebido do cliente k para entrega do jornal j [R\$]), Q_{kj} (quantidade de jornais j do cliente k) e t_j (percentual de imposto do serviço de transporte de jornais j (%)). O mesmo cálculo se repete para os termos relativos aos produtos de e-commerce.

A sétima parte de custos da equação trata-se de custos fixos da distribuição que independem da quantidade de produtos e jornais transportados, tais como custos de aluguéis, manutenção de prédios, segurança patrimonial, pessoal da equipe de transportes, pessoal administrativo, e equipamentos. Esse termo é simbolizado na equação pela constante E (custo fixo operacional do operador logístico (R\$)).

O oitavo item da equação consiste do custo variável das entregas de produtos e jornais, sendo calculado separadamente para os dois. Refere-se aos custos de controle, processamento de pedidos e etiquetagem. É composto no caso de jornais pelo somatório do produto entre b_j (custo variável operacional do operador logístico por jornal j entregue (R\$)) vezes Q_{kj} (quantidade de jornais j do cliente k). O mesmo cálculo se repete para o caso de produtos de e-commerce.

O último termo de custos da equação trata do cálculo relativo ao seguro da carga transportada somente de produtos de e-commerce. Os jornais não apresentam seguro. O cálculo do seguro é dado pelo somatório do produto entre p_g (valor médio de seguro do produto g (R\$)) e Q_{kg} (quantidade de produtos g do cliente k).

Em relação às restrições do modelo, existe três subdivisões uma relativa às rotas interestaduais, outra às rotas Pré-CDs e a última referente às rotas Pós-CDs. Essas restrições referem-se à limitação de capacidade dos veículos e à limitação de frota dos operadores terceirizados. A chegada de demanda de cada subdivisão é igual à soma da demanda da subdivisão anterior.

FORMULAÇÃO MATEMÁTICA ESTÁTICA DE LUCRATIVIDADE DO OPERADOR LOGÍSTICO

Objetivo: Maximizar a Lucratividade do Transporte com Rotas e Frota Fixas

Período de Análise: Diário

Variáveis de Decisão:

- 1) Q_{kg} : quantidade de produtos g do cliente k;
- 2) X_{ma} : quantidade de veículos do tipo i para cada rota interestadual m do transportador terceirizado a;
- 3) X_{ina} : quantidade de veículos do tipo i para cada rota Pré-CD h do transportador terceirizado a;
- 4) X_{na} : quantidade de veículos do tipo i para cada rota Pós-CD n do transportador terceirizado a.

Maximizar

$$\text{Lucratividade} = \left[\sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^c V_{kj} * Q_{kj} + \sum_{k=1}^b \sum_{g=1}^x V_{kg} * Q_{kg} \right] - \sum_{i=1}^q \sum_{m=1}^{Y^m} \sum_{a=1}^u C_{ma} * X_{ma} * d_m - \sum_{i=1}^q \sum_{h=1}^s \sum_{a=1}^u C_{ha} * X_{na} * d_h - \sum_{i=1}^q \sum_{n=1}^z \sum_{a=1}^u C_{na} * X_{na} * d_n$$

1- Receita Jornais

2- Receita Produtos

3- t. Interestadual

4- t. Pré-CD

5- t. Pós-CD

$$- \sum_{d=1}^s \sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^c Z_{dkj} * Q_{kj} - \sum_{d=1}^s \sum_{k=1}^b \sum_{g=1}^x Z_{dkg} * Q_{kg} - \sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^c Y_{kj} * f_j - \sum_{k=1}^b \sum_{g=1}^x Y_{kg} * f_g - \sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^c V_{kj} * Q_{kj} * t_j - \sum_{k=1}^b \sum_{g=1}^x V_{kg} * Q_{kg} * t_g - E - \sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^c b_j * Q_{kj}$$

6-Distribuição

6-Roubos/Extravios

7- Impostos

8- C. Fixo

9- C. Variável

$$- \sum_{k=1}^b \sum_{g=1}^x b_g * Q_{kg} - \sum_{k=1}^b \sum_{g=1}^x p_g * Q_{kg} \quad (4)$$

9- C. Variável

10- Seguro

RESTRICÇÕES:

Rotas Interestaduais m:

- $\sum_{k=1}^b \sum_{g=1}^x Q_{kg} * W_{kg} * P_{gm} \leq \sum_{i=1}^q \sum_{a=1}^u X_{ma} * H_i * V_m; m = 1, \dots, Y$ (capacidade dos veículos)
- $X_{ma} \leq F_{ma} * V_m; m = 1, \dots, Y$ (limitação de frota dos operadores terceirizados)

Rotas Pré-CD h:

- $\sum_{k=1}^b \sum_{g=1}^x Q_{kg} * W_{kg} * P_{gn} + \sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^c Q_{kj} * W_{kj} * P_{jn} \leq \sum_{i=1}^q \sum_{a=1}^u X_{na} * H_i * V_h; h = 1, \dots, s$ (capacidade dos veículos)
- $X_{na} \leq F_{na} * V_h; h = 1, \dots, s$ (limitação de frota dos operadores terceirizados)

Rotas Pós-CD n:

- $\sum_{k=1}^b \sum_{g=1}^x Q_{kg} * W_{kg} * P_{gn} + \sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^c Q_{kj} * W_{kj} * P_{jn} \leq \sum_{i=1}^q \sum_{a=1}^u X_{na} * H_i * V_n; n = 1, \dots, z$ (capacidade dos veículos)
- $X_{na} \leq F_{na} * V_n; n = 1, \dots, z$ (limitação de frota dos operadores terceirizados)
- $V_{kj}, Q_{kj}, V_{kg}, Q_{kg}, C_{ma}, X_{ma}, d_m, C_{ha}, X_{na}, d_h, Z_{dkj}, Q_{kj}, Z_{dkg}, Q_{kg}, Y_{kj}, f_j, Y_{kg}, f_g, V_{kj}, Q_{kj}, t_j, t_g, E, b_j, b_g, p_g, W_{kg}, P_{gm}, H_i, F_{ma}, P_{gn}, F_{na}, P_{gn}, F_{na} \geq 0$
- $Q_{kg}, X_{ma}, X_{na}, X_{na}, \text{inteiros.}$

em que:

- V_{kj} : valor recebido do cliente k para entrega do jornal j [R\$];
- V_{kg} : valor recebido do cliente k para entrega do produto g [R\$];
- Q_{kj} : quantidade de jornais j do cliente k ;
- Q_{kg} : quantidade de produtos g do cliente k ;
- C_{ima} : custo fixo do transporte terceirizado do veículo i para cada rota interestadual m do transportador terceirizado a [R\$/km];
- x_{ima} : quantidade de veículos do tipo i para cada rota interestadual m do transportador terceirizado a ;
- d_m : quantidade de km rodados de cada rota interestadual m ;
- C_{iha} : custo fixo do transporte terceirizado do veículo i para cada rota Pré-CD h do transportador terceirizado a [R\$/km];
- x_{iha} : quantidade de veículos do tipo i para cada rota Pré-CD h do transportador terceirizado a ;
- d_h : quantidade de km rodados de cada rota Pré-CD h ;
- C_{ina} : custo fixo do transporte terceirizado do veículo i para cada rota Pós-CD n do transportador terceirizado a [R\$/km];
- x_{ina} : quantidade de veículos do tipo i para cada rota Pós-CD n do transportador terceirizado a ;
- d_n : quantidade de km rodados de cada rota Pós-CD n ;
- Z_{dkj} : valor pago ao distribuidor d para entrega do cliente k do jornal j [R\$];
- Z_{dkg} : valor pago ao distribuidor d para entrega do cliente k do produto g [R\$];
- Y_{kg} : valor de venda do produto roubado/extraviado g do cliente k [R\$];
- Y_{kj} : valor de venda do jornal roubado/extraviado j do cliente k [R\$];
- f_g : quantidade de produtos g roubados/extraviados;
- f_j : quantidade de jornais j roubados/extraviados;
- t_g : percentual de imposto do serviço de transporte de produtos g (%);
- t_j : percentual de imposto do serviço de transporte de jornais j (%);
- E : custo fixo operacional do operador logístico (R\$);
- b_g : custo variável operacional do operador logístico por produto g entregue (R\$);
- b_j : custo variável operacional do operador logístico por jornal j entregue (R\$);
- p_g : valor médio de seguro do produto g (R\$).
- W_{kg} : peso médio do produto g do cliente k (kg);
- W_{kj} : peso médio do jornal j do cliente k (kg);
- P_{gm} : Percentual do total de produtos g na rota interestadual m (%);
- P_{gh} : Percentual do total de produtos g na rota Pré-CD h (%);
- P_{jh} : Percentual do total de jornais j na rota Pré-CD h (%);
- P_{gn} : Percentual do total de produtos g na rota Pós-CD n (%);
- P_{jn} : Percentual do total de jornais j na rota Pós-CD n (%);
- H_i : Capacidade de carga do veículo do tipo i (kg);
- F_{ima} : Frota de veículos do tipo i para rotas interestaduais m do transportador terceirizado a ;
- F_{iha} : Frota de veículos do tipo i para rotas Pré-CD h do transportador terceirizado a ;
- F_{ina} : Frota de veículos do tipo i para rotas Pós-CD n do transportador terceirizado a .

Cliente $k=[1, \dots, b]$

Jornais $j=[1, \dots, c]$;

Tipos de Produto $g=[1, \dots, x]$;

Tipo de Veículo $i=[1, \dots, q]$;

Rota Interestadual $m=[1, \dots, y]$;

Transportador Terceirizado $a=[1, \dots, u]$;

Rota Pré-CD $h=[1, \dots, s]$;

Rota Pós-CD $n=[1, \dots, z]$;

Distribuidor $d=[1, \dots, s]$.

A primeira restrição é relativa à capacidade dos veículos. No caso do transporte interestadual é dada pelo somatório do produto de Q_{kg} (quantidade de produtos g do cliente k), W_{kg} (peso médio do produto g do cliente k (kg)) e P_{gm} (Percentual do total de produtos g na rota interestadual m (%)). Parte-se da premissa que o carregamento percentual de cada rota é fixo. Este somatório do produto deve ser menor ou igual do que o somatório do produto entre X_{ima} (quantidade de veículos do tipo i para cada rota interestadual m do transportador terceirizado a) vezes H_i (Capacidade de carga do veículo do tipo i (kg)). A mesma restrição de capacidade se repete para as rotas Pré-CDs e Pós-CDs incluindo o somatório do produto relativo ao carregamento de jornais.

A segunda restrição relativa à quantidade de veículos da frota é dada, no caso do transporte interestadual, por X_{ima} (quantidade de veículos do tipo i para cada rota interestadual m do transportador terceirizado a) que deve ser menor ou igual do que F_{ima} (Frota de veículos do tipo i para rotas interestaduais m do transportador terceirizado a). Essa mesma restrição se repete para o caso do transporte Pré-CD e para o transporte Pós-CD. Por fim, a terceira restrição limita a não negatividade de todos os termos da equação e a quarta restrição determina que as variáveis a serem calculadas são inteiras.

7.2 MODELO MULTIPERÍODO PARA DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE JORNAIS E PRODUTOS DE E-COMMERCE

Partindo-se das características propostas pelo modelo completo estático no tempo, chega-se ao seu refinamento através de um modelo multiperíodo com possibilidade de postergação de carregamentos, otimizando ao máximo as capacidades evitando-se a colocação de veículos extras mais onerosos. Para tanto, foca-se agora somente no transporte Pré-CD de forma a facilitar sua resolução.

Este modelo pode ser denominado de Modelo Multiperíodo de Alocação de Cargas e Veículos. Em resumo, ele abrange a soma de jornal do dia atual mais a carga estocada de produtos de e-commerce de dias anteriores somado a nova carga de produtos de e-commerce chegada no dia atual. No modelo a capacidade contratada é determinística, sendo a capacidade do caminhão fixo contratado para cada rota menos o peso do jornal transportado no respectivo dia da semana para esta rota. Como praticamente ocorre na realidade, considera-se que a quantidade de jornal de cada dia

da semana (por exemplo na segunda-feira) é sempre igual, contudo varia de um dia da semana para outro (por exemplo de segunda-feira para terça-feira). E a demanda é discreta (n de produtos de e-commerce). A Figura 26 resume o funcionamento esquemático deste modelo. As perguntas básicas respondidas por ele são: 1) aumentar ou não a frota do dia? 2) postergar ou não os carregamentos para dias seguintes?

Partem-se dos princípios que: o custo de transporte de produtos em frota fixa já contratada é menor (em capacidade ociosa de jornal e postergações em capacidades ociosas), e para frota extra é maior; o valor cobrado por entregas mais rápidas é maior, e entregas postergadas é menor.

Este modelo multiperíodo tem como intuito principal quantificar o lucro do operador de transporte Pré-CD considerando as diversas condições operacionais e contratuais do serviço de transporte (Equação 5). Neste contexto, o modelo continua baseado basicamente em duas partes que são as receitas e as despesas, sendo sua função objetivo maximizar a lucratividade do Operador Logístico considerando rotas fixas. Novamente exclui-se a questão da roteirização (mudança de rotas).

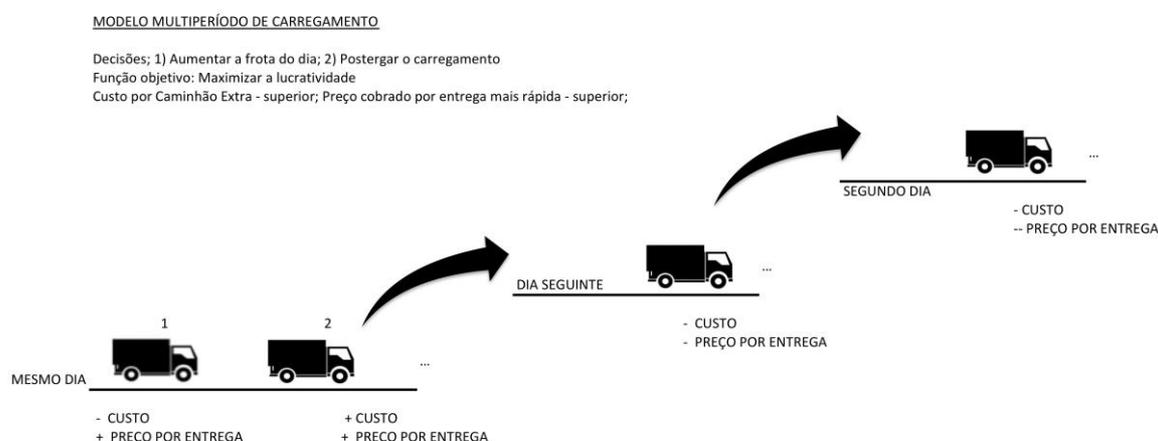


Figura 26: Desenho esquemático do modelo multiperíodo a ser desenvolvido (Fonte: Elaborado pelo Autor).

Como trata-se do transporte e distribuição de jornais e produtos de e-commerce, este modelo considera separadamente os dois tipos de mercadorias transportadas. A primeira parte do modelo refere-se à receita. A receitas de jornais é composta pelo somatório do produto do V_{cjm} (valor recebido do cliente c para entrega do jornal j [R\$]) vezes J_{cjm} (quantidade de jornais j do cliente c). A receita relativa a entrega de produtos é calculada da mesma forma, somatório de R_{cpih} (valor recebido do cliente c para entrega

do produto p [R\$]) multiplicada por P_{cpihrm} (quantidade de produtos p do cliente c). A receita total é calculada somando-se as partes relativas a jornais com a relativa a produtos. Como a equação quantifica a lucratividade, todos os itens relativos à receita são positivos, enquanto aqueles vinculados aos custos são negativos.

Em relação aos custos da função objetivo, este é compartilhado entre jornais e produtos sendo relativo somente ao transporte extra. Como o custo do primeiro caminhão contratado por dia de cada rota é fixo independente do veículo estar vazio ou cheio, então ele foi excluído da função objetivo. O custo do transporte extra portanto é composto pelo somatório do produto do K_{vrt} (custo fixo do transporte terceirizado extra do veículo v para cada rota Pré-CD r do transportador terceirizado t [R\$]) vezes E_{vrtm} (quantidade de veículos extras do tipo v para cada rota Pré-CD r do transportador terceirizado t).

O segundo item de custos refere-se à devolução de dinheiro ao cliente devido ao não carregamento de produtos. Este fator foi criado para gerar a opção de extrapolar a capacidade fixa diária da rota sem ter o prejuízo completo de incluir um novo veículo extra vazio. É composto pelo somatório do produto entre Z_{cpi} (valor devolvido ao cliente c para não entrega do produto p [R\$]) vezes Q_{cpir} (quantidade de produtos não transportados p do cliente c).

Em relação às restrições do modelo, a primeira é relativa à capacidade dos veículos. É dada pelo somatório do produto de P_{cpihrm} (quantidade de produtos p do cliente c) vezes W_{cp} (peso médio do produto p do cliente c (kg)) adicionado ao somatório de jornais J_{cjm} (quantidade de jornais j do cliente c) vezes W_{cj} (peso médio do jornal j do cliente c (kg)), menos o somatório do produto entre T_{vrtm} (quantidade de veículos fixos contratados do tipo v para cada rota pré-CD r do transportador terceirizado t) mais E_{vrtm} (quantidade de veículos extras do tipo v para cada rota pré-CD r do transportador terceirizado t) vezes H_v (Capacidade de carga do veículo do tipo v (kg)).

A segunda restrição é composta por E_{vrtm} (quantidade de veículos extras do tipo v para cada rota pré-CD r do transportador terceirizado t para cada dia m) que deve ser menor ou igual do que F_{vrt} (Frota de veículos do tipo v para rotas pré-CDs r do transportador terceirizado t).

MODELO MULTIPERÍODO DE LUCRATIVIDADE DO OPERADOR LOGÍSTICO COM FROTA HETEROGÊNEA EM ROTA PRÉ-CD

Objetivo: Maximizar a Lucratividade do Transporte com Rotas Fixas

Variáveis de Decisão:

- 1) P_{cpihrm} : quantidade de produtos p do cliente c que chegam no dia i e são transportados h dias após na rota pré-CD r no dia m;
- 2) E_{vrtn} : quantidade de veículos extras do tipo v para cada rota Pré-CD r do transportador terceirizado t utilizados no dia m;
- 3) Q_{cpifr} : quantidade de produtos não transportados p do cliente c que chegaram no dia i na rota pré-CD r.

Maximizar

$$\text{Lucratividade} = \left(\sum_{c=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^z \sum_{r=1}^y V_{gim} * J_{gimr} \right) + \left(\sum_{c=1}^n \sum_{p=1}^x \sum_{i=1}^s \sum_{h=0}^g \sum_{r=1}^y R_{cpih} * P_{cpihrm} \right) - \left(\sum_{v=1}^q \sum_{t=1}^u \sum_{r=1}^y \sum_{m=1}^z K_{vtr} * E_{vrtn} \right) - \left(\sum_{c=1}^n \sum_{p=1}^x \sum_{i=1}^s \sum_{r=1}^y Z_{cpi} * Q_{cpifr} \right) \quad (5)$$

1-Receita Jornais 2-Receita Produtos 3-Custo T.Extra 4-Devolução devido a Produtos Não Transportados

RESTRICÇÕES:

Rotas Pré-CD:

- $\left(\sum_{c=1}^n \sum_{p=1}^x \sum_{i=1}^s \sum_{h=0}^g W_{cp} * P_{cpihrm} \right) + \left(\sum_{c=1}^n \sum_{j=1}^k M_{cj} * J_{gimr} \right) - \left(\sum_{v=1}^q \sum_{t=1}^u H_v * (T_{vrtn} + E_{vrtn}) \right) \leq 0, \forall r, m; r = 1, \dots, y$ e $m = 1, \dots, z$ (capacidade dos veículos)
- $E_{vrtn} \leq F_{vrt}, \forall r, m; r = 1, \dots, y$ e $m = 1, \dots, z$ (limitação de frota extra dos operadores terceirizados)
- $\left(\sum_{c=1}^n \sum_{p=1}^x \sum_{h=0}^g \sum_{r=1}^y P_{cpihrm} + Q_{cpifr} \right) = \left(\sum_{c=1}^n \sum_{p=1}^x \sum_{r=1}^y D_{cpifr} \right), \forall r, i; r = 1, \dots, y$ e $i = 1, \dots, s$ (Demanda de Chegada)
- $P_{cpihrm} \geq 0, \forall c, p, i, h, r; c = 1, \dots, n, p = 1, \dots, x; i = 1, \dots, s; h = 1, \dots, g; e r = 1, \dots, y.$
- $E_{vrtn} \geq 0, \forall v, r, t, m; v = 1, \dots, q, r = 1, \dots, y; t = 1, \dots, u; e m = 1, \dots, z.$
- $Q_{cpifr} \geq 0, \forall c, p, i, r; c = 1, \dots, n; p = 1, \dots, x; i = 1, \dots, s; e r = 1, \dots, y.$
- $P_{cpihrm}, E_{vrtn}, Q_{cpifr}$ inteiros.

em que:

93

Variáveis:

$P_{cp|hi}$: Quantidade de produtos p do cliente c que chegaram no dia i e são transportados h dias após na rota pré-CD r;

$Q_{cp|i}$: Quantidade de produtos não transportados p do cliente c que chegaram no dia i transportados na rota pré-CD r;

E_{vtrm} : Quantidade de veículos extras do tipo v para cada rota Pré-CD r do transportador terceirizado t utilizados no dia m.

Constantes:

V_{cim} : Valor recebido do cliente c para entrega do jornal j que são transportados no dia m [R\$];

$R_{cp|i}$: Valor recebido do cliente c para entrega do produto p [R\$] que chegam no dia i e são transportados h dias após;

$Z_{cp|i}$: Valor devolvido ao cliente c por não transportar o produto p [R\$] que chegam no dia i;

T_{vtrm} : Quantidade de veículos do tipo v para cada rota Pré-CD r do transportador terceirizado t utilizados no dia m.

J_{cjm} : Quantidade de jornais j do cliente c que são transportados no dia m na rota pré-CD r;

$D_{cp|r}$: Demanda de produtos p do cliente c que chegaram no dia i na rota pré-CD r;

K_{vrt} : Custo fixo do transporte terceirizado extra do veículo tipo v para cada rota Pré-CD r do transportador terceirizado t;

W_{cp} : Peso médio do produto p do cliente c (kg);

M_{cj} : Peso médio do jornal j do cliente c (kg);

H_v : Capacidade de carga do veículo do tipo v (kg);

F_{vrt} : Frota extra de veículos do tipo v para rotas Pré-CD r do transportador terceirizado t.

Índices:

Cliente $c = [1, \dots, n]$

Jornais $j = [1, \dots, k]$;

Tipos de Produto $p = [1, \dots, x]$;

Tipo de Veículo $v = [1, \dots, q]$;

Transportador Terceirizado $t = [1, \dots, u]$;

Rota Pré-CD $r = [1, \dots, y]$;

Dia de Chegada $i = [1, \dots, s]$;

Dia de Envio após Chegada $h = [0, \dots, g]$;

Dia $m (i+h) = [1, \dots, z]$.

A terceira restrição deve-se a demanda de chegada de produtos onde a soma de P_{cpihrm} (quantidade de produtos p do cliente c que chegam no dia i) mais Q_{cpir} (quantidade de produtos não transportados p do cliente c que chegam no dia i) deve ser igual a soma da D_{cpir} (demanda de chegada de produtos p do cliente c que chegaram no dia i na rota pré-CD r). Por fim, a quarta restrição limita a não negatividade das variáveis da equação e a quinta restrição determina que as variáveis a serem calculadas são inteiras. É importante lembrar que descontam-se deste cálculo os demais custos fixos existentes na Equação 4 não presentes nesta função objetivo e que os resultados dependerão do horizonte máximo definido (data final) de modelagem.

Alguns pontos importantes abrangidos pela modelagem:

- Considera a variabilidade do peso de jornal para cada dia da semana;
- Analisa frotas heterogêneas e suas limitações em quantidade por rota;
- Trata de rotas fixas;
- Possibilita penalizações de receita por postergações;
- Trata dos dados de forma discreta;
- Considera carregamento de diversos jornais, diferentes produtos, vários clientes, distintos tipos de veículos de diversos transportadores, em várias rotas fixas, com frotas limitadas disponíveis e demandas diárias de chegada específicas.

Perguntas possíveis de serem respondidas pelo modelo multiperíodo:

- 1) Quais entregas realizar?
- 2) Qual o nível de serviço realizar?
- 3) Qual a influência da demanda de chegada diária?
- 4) Qual o efeito da penalização pela postergação?
- 5) Qual o efeito do preço de contratação de frota extra?
- 6) Qual o efeito da multa contratual por não transportar?
- 7) Qual o efeito do tempo de postergação (prazo de entrega do contrato)?

Portanto, conforme a formulação proposta e a revisão bibliográfica desenvolvida no Capítulo 4, este problema pode ser classificado como: Problema Estruturado em Ambiente de Certeza de Nível Operacional, Tático e Estratégico, fazendo uso de Método Multi-objetivo, gerando um Modelo Multiperíodo de Otimização Matemática Discreta por Programação Linear Inteira.

8 APLICAÇÕES DO MODELO

O processamento dos dados foi realizado no software Matlab®, partiu-se primeiramente para montagem da modelagem linear em planilha Excel (Figura 27), para posterior exportação para arquivo de texto TXT (Figura 28) e por fim o processamento no software Matlab® 2014b (Figura 29), em sistema Operacional Macintosh® OS X versão 10.11, em computador com processador de 2,3 GHz Intel Core® i5 com memória 8 GB 1333 MHz DDR3. Esta versão do software permitiu obtenção de resultados para sistemas lineares inteiros com uso do algoritmo *Branch and Bound*. Como não existem valores não inteiros para frota e produtos é preciso fazer uso deste artifício. O algoritmo *Branch and Bound* trata sistematicamente dos candidatos a solução, onde subconjuntos de candidatos infrutíferos são descartados agilizando a obtenção dos resultados (Yamashita e Morabito, 2007).

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "2015_03_15_Otimização_PRAZO 3 DIAS GRAFICO.xl". The spreadsheet is set to "Inteiro sem Postergação" (Integer without delay). The data is organized as follows:

Varável	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
c (cliente)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
p (produto)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
l (dia de chegada)	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
h (dia de envio após a chegada)	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
r (rota pré-CD)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
v (tipo de veículo)																				
t (transportador)																				
m (dia = i+h)																				
Função Objetivo (minimizar)	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
Capacidade do Veículo dia 1 (seg), rota 1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 2 (ter), rota 1	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 3 (qua), rota 1	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 4 (qui), rota 1	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 5 (sex), rota 1	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 6 (seg), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 7 (ter), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 8 (qua), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 9 (qui), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 10 (sex), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 11 (seg), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 12 (ter), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 13 (qua), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 14 (qui), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 15 (sex), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 16 (seg), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 17 (ter), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 18 (qua), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 19 (qui), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 20 (sex), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 21 (seg), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 22 (ter), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 23 (qua), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 24 (qui), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 25 (sex), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 26 (seg), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 27 (ter), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 28 (qua), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 29 (qui), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade do Veículo dia 30 (sex), rota 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limitação frota extra dia 1, rota 1 (seg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limitação frota extra dia 2, rota 1 (ter)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 27: Modelagem em Planilha Excel.

desenvolvido o modelo através de programação linear não inteira para fins de comparação dos resultados e análise de sensibilidade. Os tempos de processamento variaram de 10 a 7200 segundos, sendo superiores ao processar maiores quantidades de variáveis e ao usar demandas de chegada próximas da capacidade dos veículos.

8.1 PROGRAMAÇÃO LINEAR NÃO INTEIRA

Conforme comentado anteriormente, a análise da Programação Linear Não Inteira (relaxamento da restrição de integralidade) será necessária para possibilitar o desenvolvimento da Análise de Sensibilidade. A Figura 30 mostra a lucratividade para um problema de Programação Linear Não Inteira, sem penalização de receita pelo postergamento, para demanda diária de chegada entre 140 e 2000 produtos (demanda alta). Atribui-se multas de R\$1000 por não transportar, ou seja, força-se o transporte de todos os produtos. Usa-se capacidade fixa, sem a variação de carregamento de jornais para cada dia da semana. Para o problema contínuo (não inteiro) não observou-se diferença representativa na lucratividade postergando o carregamento em relação a não postergar. Da mesma forma, o tempo de postergação máximo do carregamento (3 e 5 dias) para este intervalo de demanda de chegada não apresentou influencia na lucratividade, ou seja, entregar no mesmo dia e em 3 dias possui o mesmo ganho que entregar em 5 dias. É importante lembrar que o tempo maior de entrega reduz o nível de serviço aos clientes, podendo afetar a lucratividade.

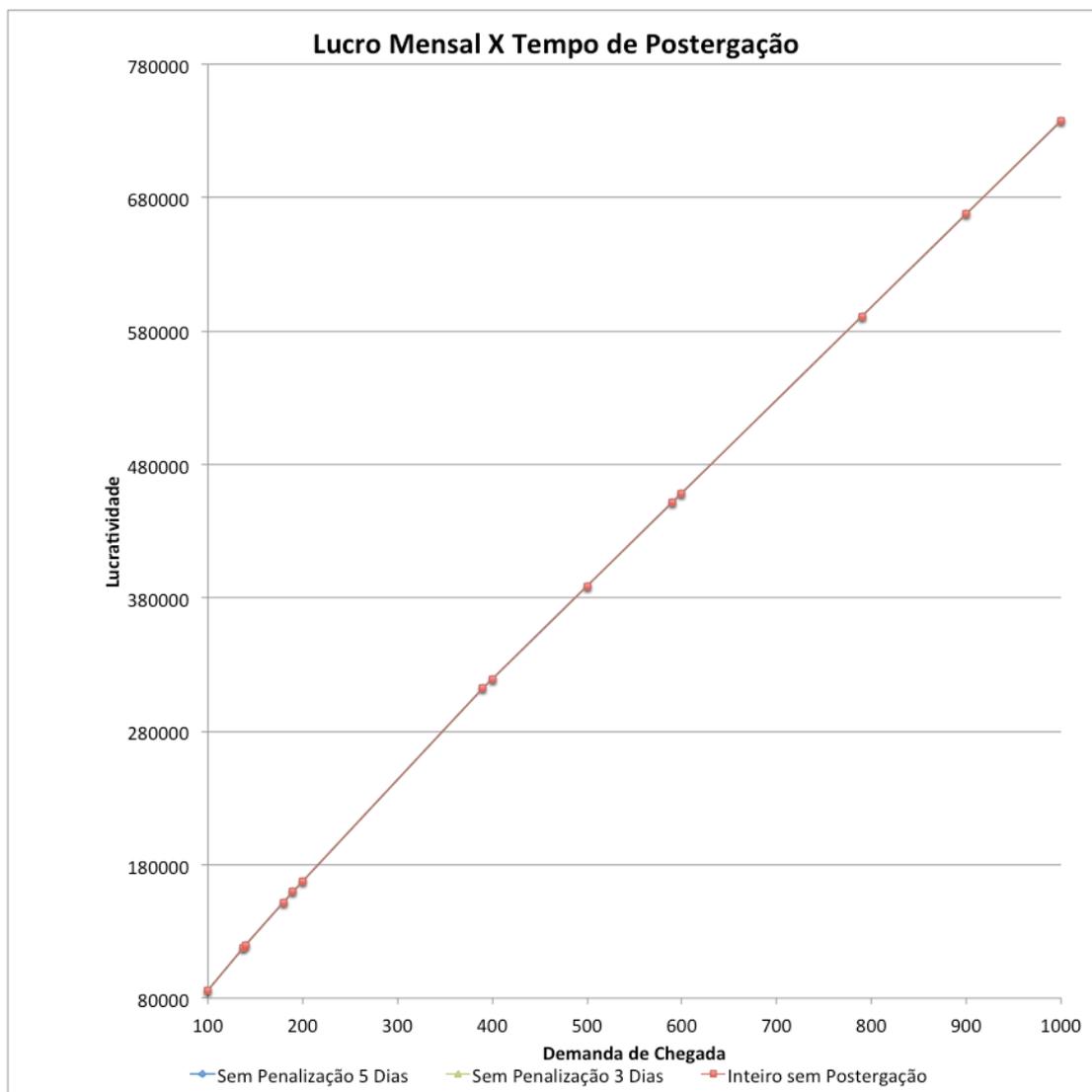


Figura 30: Programação Linear Não Inteira.

8.2 ANÁLISE EM FUNÇÃO DA DEMANDA DE CHEGADA

A primeira análise realizada após obtenção e calibração do modelo foi a de lucro mensal versus demanda de chegada, considerando o período máximo de postergação de 3 dias e duas rotas operacionais somadas, com multa por não transportar de R\$50 (Figura 31).

Essa análise de influência da demanda diária de chegada na lucratividade pode ser vista de diversas formas de acordo com a revisão bibliográfica desenvolvida no Capítulo 2, 3 e 4:

- Distribuição de Produtos: a questão da distribuição tem relação direta com a capacidade dos veículos, roteiros, tempos de ciclo da entrega;

composição de rede tipo CD Centralizado e Cross-docking; janelas de tempo de entrega; todos estes fatores influentes no atendimento da demanda de chegada e na lucratividade;

- Nível de Serviço: a demanda de chegada pode tornar necessária a postergação de carregamentos, reduzindo o nível de serviço ou fazendo com que alguns produtos não sejam carregados. Este fato deve ser considerado no planejamento durante a transação e pós-transação;
- Custos: A demanda de chegada influencia na necessidade de frota extra, e portanto nos custos e na lucratividade. A demanda de chegada pode gerar a necessidade de postergação de carregamentos, podendo aumentar a exigência de armazenagem e o controle da carga, influenciando nos custos também. Com um grande aumento de demanda, a produtividade tende a cair e os custos a aumentar mais, reduzindo a lucratividade;
- Tecnologia: A tecnologia permite saber informações da demanda com exatidão no menor tempo possível, permitindo otimizar melhor a distribuição e aumentar a lucratividade;
- Carregamento de Veículos: O modo de carregamento dos veículos juntamente com a quantidade de demanda de chegada tem grande influência nos custos de operação e portanto na lucratividade. Neste estudo a divisão diária de carregamentos e sua postergação definem o ganho do operador. Carregamentos não planejados podem gerar a necessidade de veículos extras e capacidades ociosas, aumentando os custos e reduzindo a lucratividade;
- Logística de Jornais: A logística de jornais possui demanda diária variando de acordo com o dia da semana, e deve ser entregue com janela de tempo específica (alta perecibilidade);
- Modelagem de Distribuição Logística: A modelagem multiperíodo discreta através de otimização linear inteira permite a análise de questões importantes para decisão, tal como a quantidade mais adequada de

produtos a serem recebidos diariamente para maximizar a lucratividade, considerando as postergações de carregamento e maximização de uso das capacidades em tempos de processamento factíveis;

- Sistemas de tomada de decisão: O modelo permite a tomada de decisão da melhor quantidade de produtos entregues e recebidos por dia com o menor risco para o operador logístico e maior lucratividade. Bem como o menor tempo de entrega e melhor nível de serviço para os clientes. Permite decidir evitando gastos desnecessários em frotas extras e novos contratos;
- Contratos, Parcerias e Alianças: Como a quantidade de produtos contratados de cada cliente diariamente e o formato deste contrato afeta a lucratividade? Como o contrato de transporte com cada fornecedor impacta nos custos? Deve-se possuir mais ou menos fornecedores?

Testaram-se comparativamente quatro cenários: 1) modelo não inteiro com penalidade de receita por postergação de entrega; 2) modelo inteiro com penalidade de receita por postergação de entrega; 3) modelo inteiro sem penalização de receita por atraso; 4) modelo inteiro sem possibilidade de postergação de carregamentos.

Observa-se que o maior lucro é conseguido com a modelagem não inteira (1) e modelagem inteira sem penalização (3). O terceiro maior lucro é conseguido com a modelagem inteira com penalização na receita pelo atraso (2). E o menor lucro é conseguido sem o artifício da postergação de entrega, que costuma ser o modo operante atual (4). Isso mostra que a postergação de 3 dias de carregamento com multa de R\$50 por não transportar cada produto pode representar ganhos representativos de lucratividade, neste caso de 6% em média.

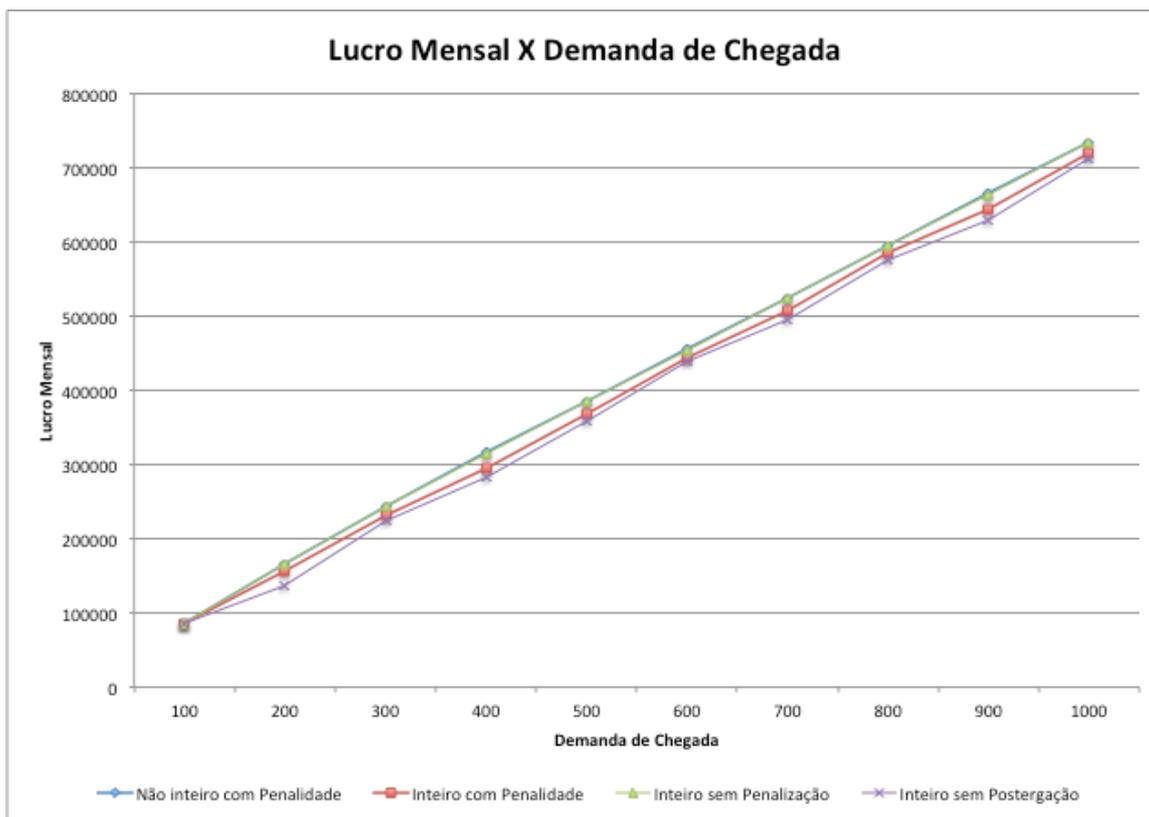


Figura 31: Lucro Mensal versus Demanda de Chegada.

8.3 ANÁLISE DO PERCENTUAL DE PENALIZAÇÃO DE RECEITA

A Figura 32 mostra o efeito do percentual de penalização de receita em função da postergação do carregamento na lucratividade para até 3 dias de postergação, com multa por não transportar de R\$50. Observou-se que com 10% de penalização na receita para cada dia de postergação, chega-se a uma redução média de somente 2,5% na lucratividade. Para o percentual de redução de 20% ao dia obtêm-se uma redução de 3,6% no lucro. E para um percentual de 30% de penalização a redução final é de 4,3%, valor próximo ao resultado de 6% de redução que ocorre sem postergação alguma.

Esses percentuais de penalização na receita pela postergação podem ser usados junto aos clientes na negociação dos atuais e dos novos contratos de transporte.



Figura 32: Efeito do Percentual de Penalização pela Postergação na Lucratividade.

8.4 ANÁLISE DO VALOR DA FROTA EXTRA

A Figura 33 mostra o impacto do valor da frota extra na lucratividade para até 3 dias de postergação, com multa por não transportar de R\$50. Observou-se que um acréscimo de 10% no valor da frota extra gera uma redução pequena de 0,77% na lucratividade. Um aumento de 30% na frota extra representa um decréscimo de 2,3% no lucro. E uma adição de 50% no valor da frota extra representa 4% de redução de lucro. Trata-se de um conhecimento importante para negociação junto aos transportadores terceirizados.

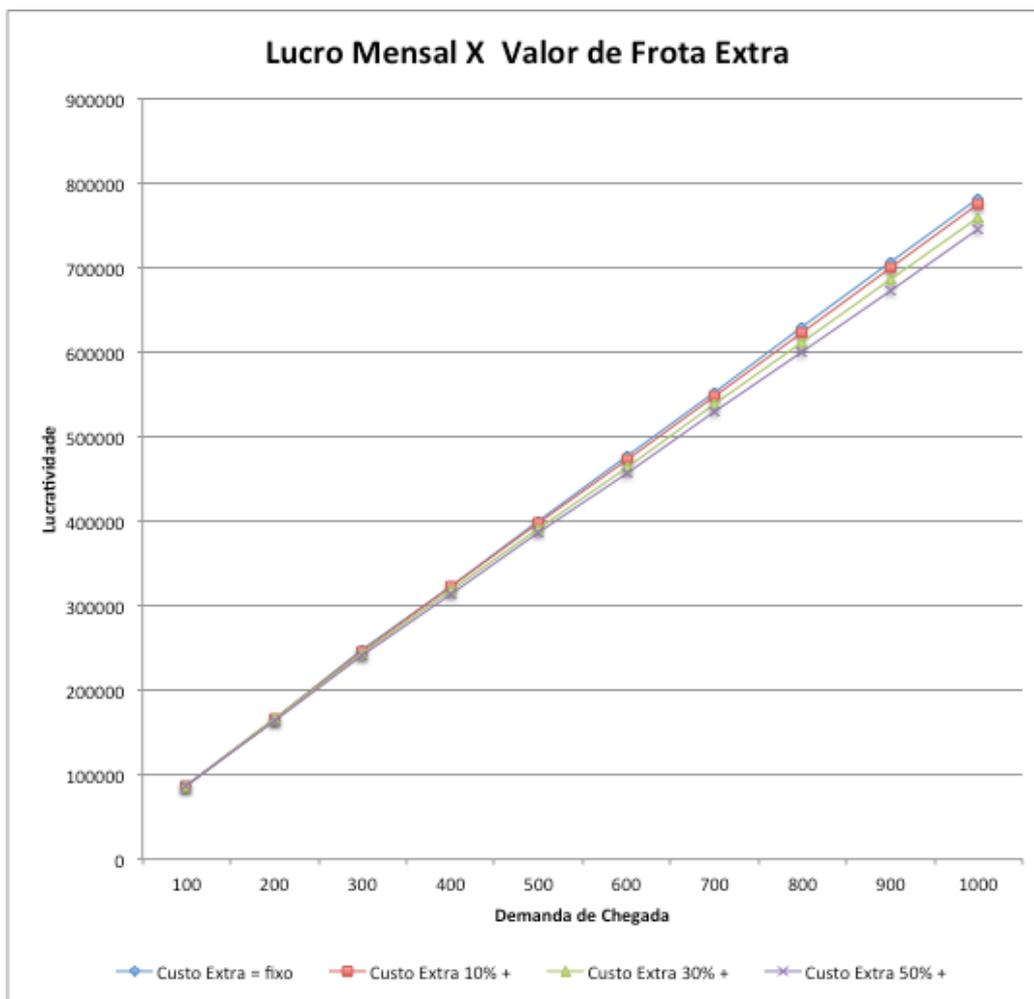


Figura 33: Efeito do Valor da Frota Extra na Lucratividade.

8.5 ANÁLISE DO EFEITO DO VALOR DA MULTA POR NÃO TRANSPORTAR

Uma análise importante de ser realizada trata do efeito do valor da multa por não transportar na lucratividade sem postergação de carregamento.

Análise de acordo com a revisão bibliográfica:

- Distribuição de Produtos: uma elevada multa por não transportar, pode gerar a necessidade de aumento de frota, devendo-se avaliar se a distribuição como um todo está racionalizada.
- Nível de Serviço: manter bons níveis de serviço (entrega rápida) envolve a colocação de veículos extras mesmo com multas altas por não transportar, aumentando os custos;
- Custos: o pagamento de multas aumentam os custos operacionais;
- Tecnologia: a informação permite estudar antes, e evitar o pagamento de multas por não transportar;
- Carregamento de Veículos: a multa por não transportar tem influência direta no carregamento diário dos veículos;

- Logística de Jornais: a quantidade de jornais em cada dia da semana determina a capacidade ociosa, evitando o pagamento de multas por não transportar;
- Modelagem de Distribuição Logística: a modelagem permite a análise dos cenários com o menor pagamento de multas possíveis;
- Sistemas de tomada de decisão: deve-se decidir entre pagar multa por não transportar ou incluir veículos extras;
- Contratos, Parcerias e Alianças: os melhores contratos e parcerias, evitam o pagamento das multas, aumentando a lucratividade.

Na Figura 34, pode ser visto o comportamento da lucratividade para uma multa por não transportar de R\$50 para somente uma rota. Observa-se sutilmente próximo a demanda de 140 e 650 produtos diários que ocorrem queda de lucro pela inclusão de veículos extras, semelhante a Figura 25. Contudo, se a multa não é alta a queda é menor, pois é mais vantajoso pagar a multa do que incluir um veículo extra.

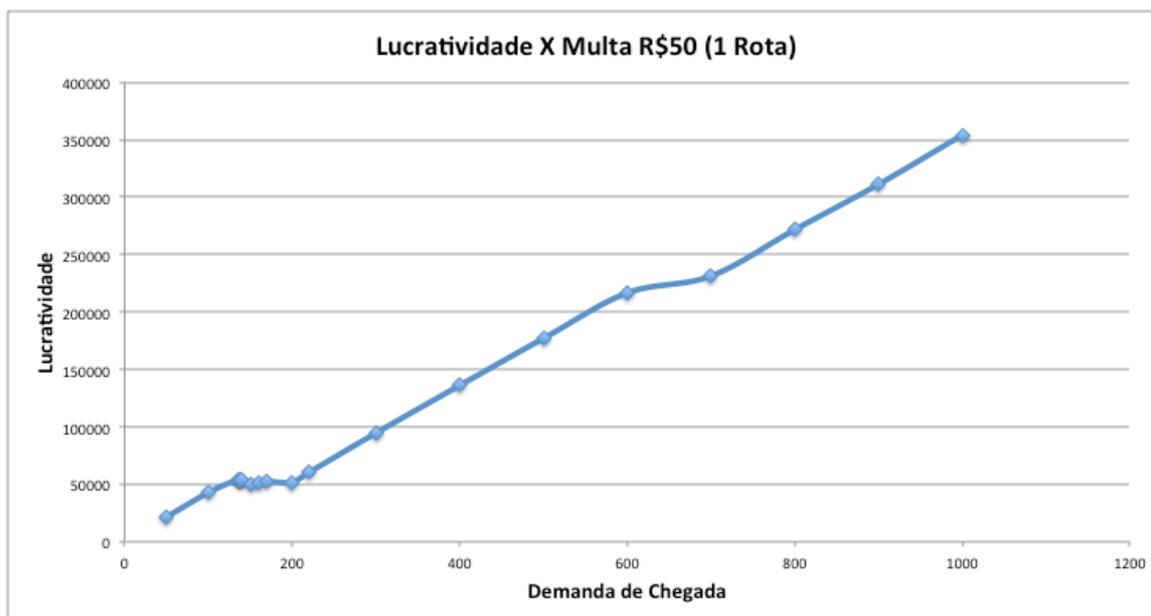


Figura 34: Efeito do Valor de Multa por Não Transportar na Lucratividade.

Olhando-se os dados com mais detalhe (Figura 35), e comparando-o com uma multa superior de R\$1000 é possível observar o comportamento da curva para somente uma rota. Com uma multa alta, força-se a inclusão de veículos extras ao invés do simples pagamento da multa para não transportar. Observa-se que com uma demanda de 137 produtos a lucratividade cai, somente sendo atingido o mesmo patamar após a demanda de 200 produtos. O salto duplo deve-se ao fato de alguns dias de semana terem capacidades maiores devido ao carregamento de jornal diferente, portanto incluiu-se veículos extras em dois momentos. Comparando-se o valor de lucratividade com 137

produtos diários para R\$1000 de multa em relação a R\$50 a lucratividade chega a cair 17%.

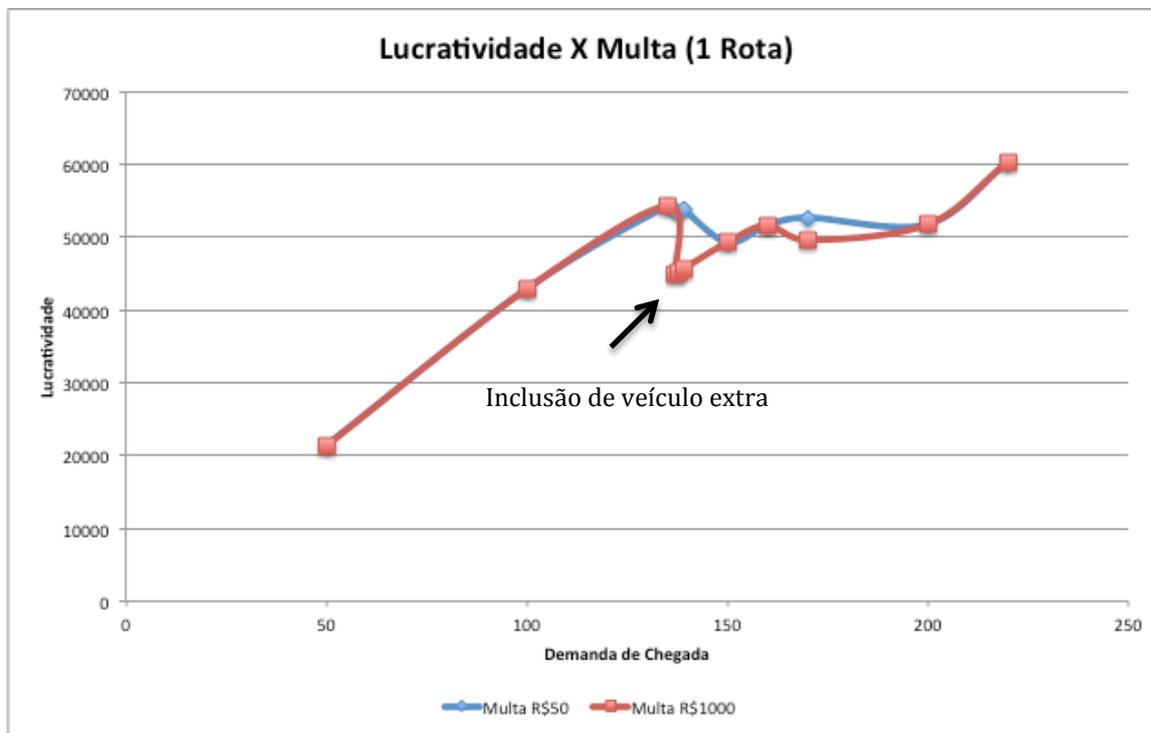


Figura 35: Detalhe do Efeito do Valor de Multa por Não Transportar na Lucratividade.

8.6 ANÁLISE DO EFEITO DO TEMPO MÁXIMO DE POSTERGAÇÃO NA LUCRATIVIDADE

Neste item busca-se analisar qual o efeito do prazo final de entrega contratado na lucratividade. No primeiro momento considera-se um carregamento diário de jornais fixo, em um segundo momento analisa-se a variabilidade diária do jornal e por fim se analisa um cenário com demanda alta de chegada.

8.6.1 Tempo Máximo de Postergação Considerando Carregamento Fixo de Jornais

A Figura 36 mostra o efeito do tempo máximo de postergação do carregamento na lucratividade, sem penalização de receita pelo postergamento, para demanda diária de chegada entre 140 e 220 produtos (demanda baixa). Novamente atribui-se multas de R\$1000 por não transportar, ou seja, força-se o transporte de todos os produtos. Neste caso usa-se capacidade fixa, sem a variação de carregamento de jornais para cada dia da semana. Na curva sem postergação, observa-se somente uma queda de lucratividade ao

incluir-se o veículo extra em somente um momento, já com a postergação o aumento de lucratividade é mais gradativo e sem relevantes oscilações.

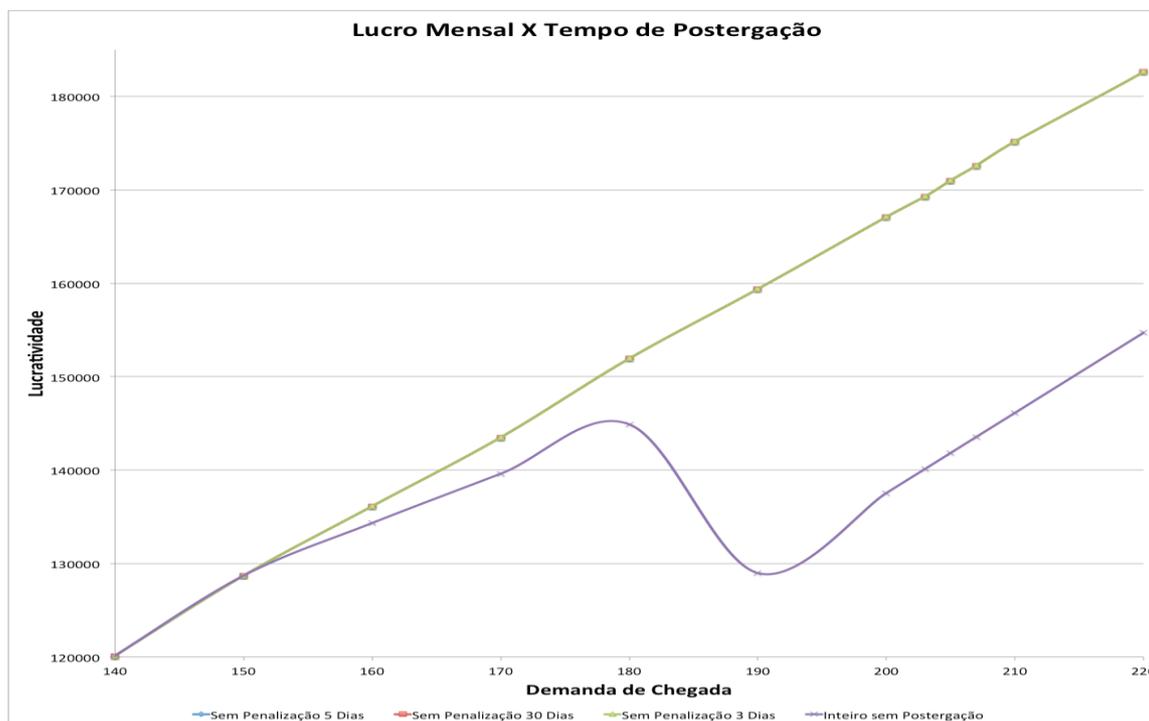


Figura 36: Efeito do Tempo de Postergação na Lucratividade com Capacidade Fixa.

Observou-se diferença bastante representativa na lucratividade postergando o carregamento em relação a não postergar, com ganhos de até 25%, este último é usualmente o formato de carregamento na prática. Novamente o tempo de postergação máximo do carregamento (3, 5 e 30 dias) para este intervalo de demanda de chegada não tem influencia na lucratividade, ou seja, entregar em 3 dias possui o mesmo ganho que entregar em 5 e 30 dias. É importante lembrar que o tempo maior de entrega reduz o nível de serviço aos clientes, podendo afetar a lucratividade.

8.6.2 Tempo Máximo de Postergação Considerando a Variabilidade Diária dos Jornais

A Figura 37 mostra o efeito do tempo máximo de postergação do carregamento na lucratividade, sem penalização de receita pela postergação, para demanda diária de chegada entre 130 e 200 produtos (demanda baixa). Considera-se multas de R\$1000 por não transportar, ou seja, força-se o transporte de todos os produtos, abrangendo a variabilidade diária de jornais. Na curva sem postergação, observa-se relevantes quedas de lucratividade ao incluir-se veículos extras, já com a postergação o aumento de lucratividade é mais gradativo e sem relevantes oscilações.

Percebe-se diferença bastante representativa na lucratividade postergando o carregamento em relação a não postergar com ganhos de até 22%, este último modo costuma ser o formato de carregamento usual. Uma outra constatação interessante é que o tempo de postergação máximo do carregamento (3, 5 e 30 dias) para este intervalo de demanda de chegada não tem influencia significativa na lucratividade, ou seja, entregar em 3 dias possui o mesmo ganho que entregar em 5 e 30 dias. É importante lembrar que o tempo maior de entrega reduz o nível de serviço aos clientes, podendo afetar a lucratividade.

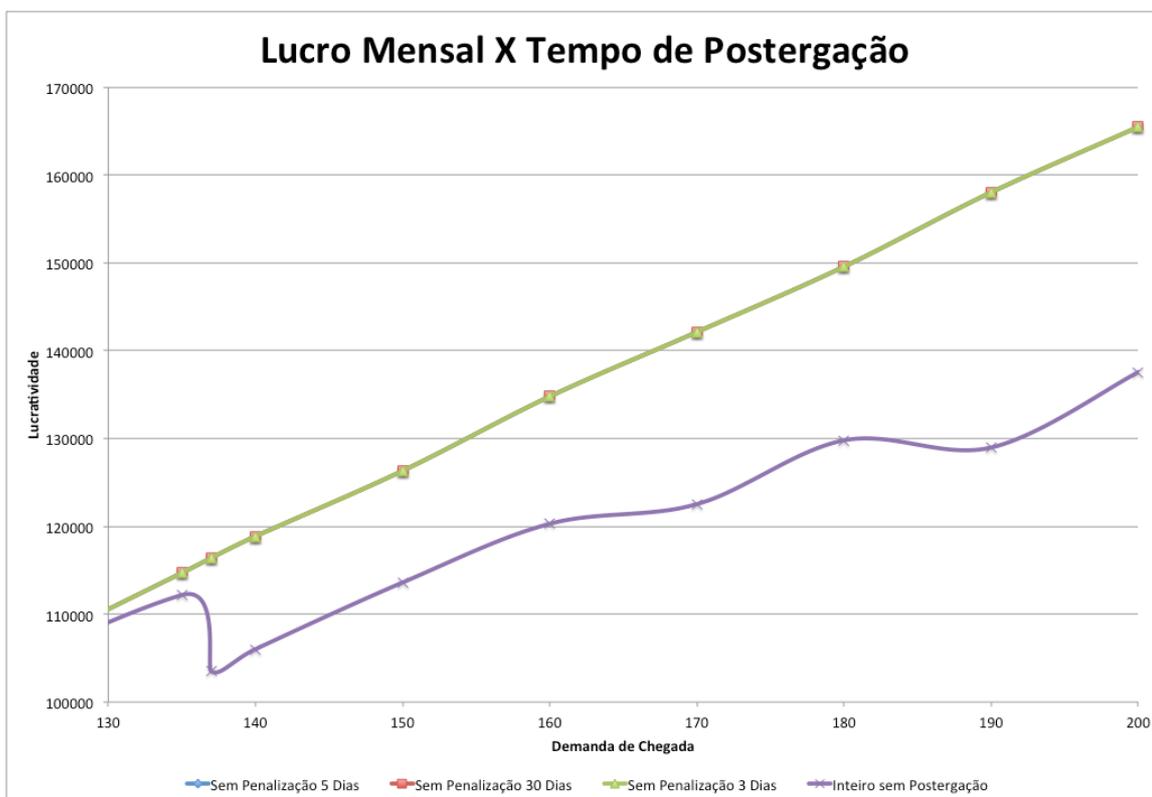


Figura 37: Efeito do Tempo de Postergação na Lucratividade.

Para melhorar a compreensão, um resumo da análise para um exemplo com demanda de chegada diária de 150 produtos está contido no Apêndice 1, onde os veículos extras necessários em cada caso estão grifados em laranja. Observa-se que em todos os exemplos com postergação são adicionados veículos extras pequenos (4t) no último/trigésimo dia, pois não é mais possível postergar o carregamento, e mais um outro veículo extra de 7t durante o período de análise, acumulando-se o máximo de carga neste dia. Contudo, para cada período máximo de postergação o dia onde é alocado este veículo extra de 7t é diferente: dia 28 para postergação de 30 dias; dia 29

para postergação de 5 dias, e; dia 22 para postergação de 3 dias. No caso sem postergação são alocados 12 veículos extras pequenos de 4t, fazendo cair a lucratividade mensal de R\$126.320 nos casos com postergação para R\$113.610 (redução de 10% para a demanda de chegada de 150 produtos por dia).

8.6.3 Tempo Máximo de Postergação Considerando Demanda Alta de Chegada

A Figura 38 mostra o efeito do tempo máximo de postergação do carregamento na lucratividade, sem penalização de receita pelo postergamento, para demanda diária de chegada entre 140 e 2000 produtos (demanda alta). Novamente atribui-se multas de R\$1000 por não transportar, ou seja, força-se o transporte de todos os produtos. Usa-se capacidade fixa, sem a variação de carregamento de jornais para cada dia da semana. Na curva sem postergação, observam-se algumas quedas de lucratividade ao incluir-se veículos extras (próximo a demandas de 190, 400, 650, 910 e 1400), já com a postergação o aumento de lucratividade é mais gradativo e sem relevantes oscilações.

Observou-se diferença representativa na lucratividade postergando o carregamento em relação a não postergar, com ganhos de até 24%, este último é usualmente o formato de carregamento na prática. Essa diferença percentual foi diminuindo com o aumento da demanda de chegada, sendo de 4% com uma demanda de chegada de 1400 produtos. Portanto, o ganho com a postergação diminui com o aumento da demanda de chegada, fato que ocorre pela redução do impacto do preço de um veículo extra necessário sobre o montante da receita. Novamente o tempo de postergação máximo do carregamento (3 e 5 dias) para este intervalo de demanda de chegada não apresentou influencia na lucratividade, ou seja, entregar em 3 dias possui o mesmo ganho que entregar em 5 dias. É importante lembrar que o tempo maior de entrega reduz o nível de serviço aos clientes, podendo afetar a lucratividade.

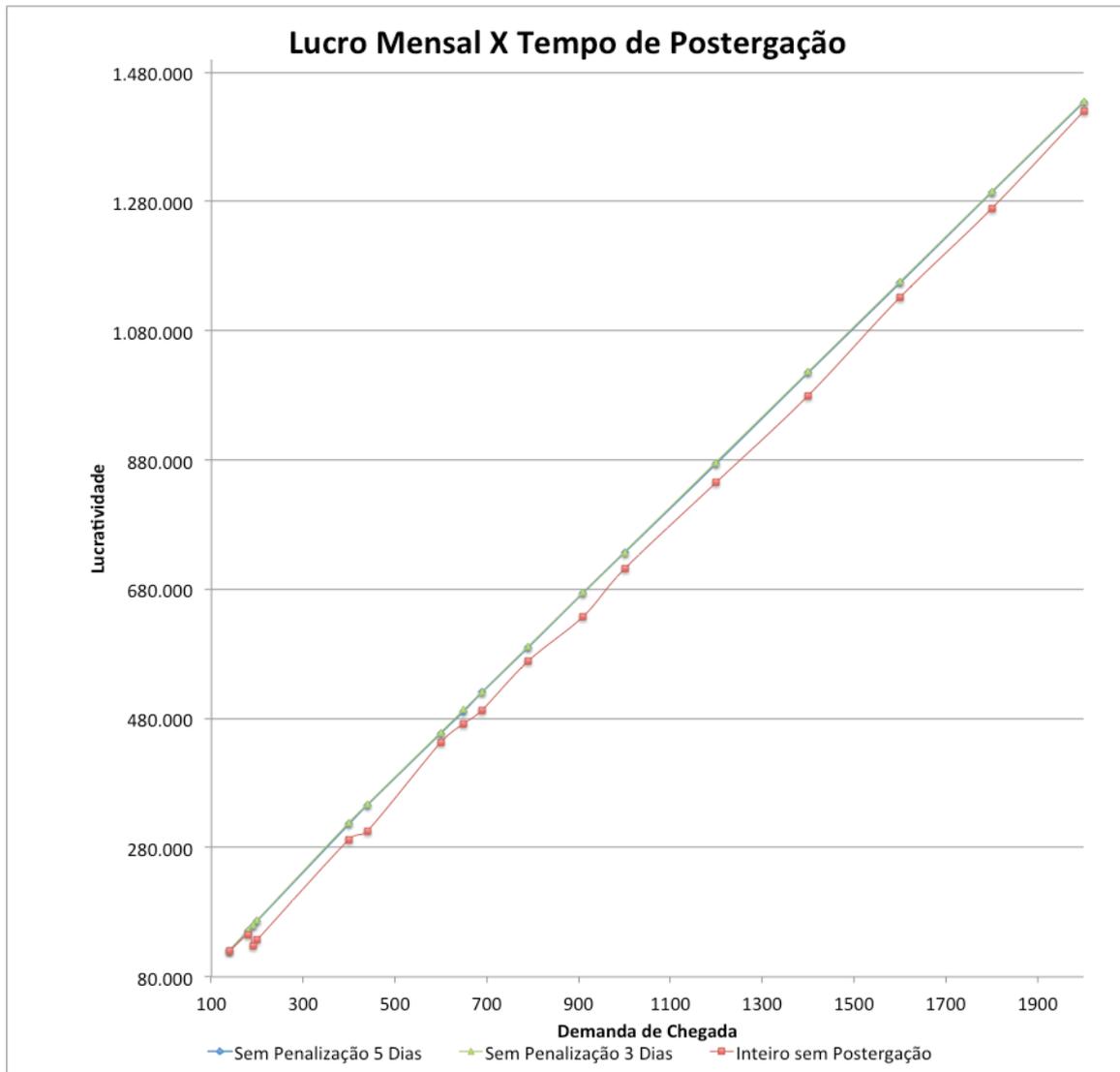


Figura 38: Tempo Máximo de Postergação para Demanda Maior de Chegada

8.7 ANÁLISE ECONÔMICA DO MODELO

8.7.1 Análise de Preço Sombra (*Shadow Price*)

A mudança em qualquer uma das constantes das restrições pode alterar a solução ótima de um determinado problema. Essa alteração no valor da função objetivo devida ao incremento de uma unidade na constante de uma restrição é chamada de preço sombra (shadow-price). A seguir será mostrada a análise do preço sombra pela inclusão de uma unidade de demanda em duas situações, variando-se: 1) o preço da entrega, e; 2) o custo do veículo extra.

8.7.1.1 Análise de Preço Sombra em Função da Mudança de Preço

Conforme Figura 39, analisou-se o efeito da inclusão de uma unidade adicional de demanda no primeiro dia de entrega, para o preço hipotético típico de entrega (R\$14,30), e para preços de 25%, 50% e 75% superiores ao valor típico, para duas quantidades de demanda de chegada diária de 100 e 200 produtos. Conforme esperado, para a demanda de 100 produtos diários (antes do atingimento da capacidade do primeiro veículo diário), o preço sombra é igual ao preço de entrega, sendo R\$14,30 para o cenário sem aumento, R\$17,88 (25% superior) para o primeiro aumento de preço, R\$21,45 (50% superior) para o segundo caso, e R\$25,03 (75% superior) para o terceiro caso.

Contudo, para a demanda de 200 produtos diários (acima da capacidade do primeiro veículo), a inclusão de uma demanda adicional não representa um preço sombra igual ao preço de entrega, é menor. Sendo R\$11,62 para o cenário sem aumento de preço, R\$15,20 (31% superior) para o caso de aumento de 25%, R\$18,17 (62% superior) para o caso de aumento de 50%, e R\$22,35 (92% superior) para o caso de 75% de aumento. Portanto, observa-se que o preço sombra, apesar de ser menor do que para a demanda de 100 produtos diários (valor integral do aumento), cresce percentualmente acima do aumento do preço de entrega.

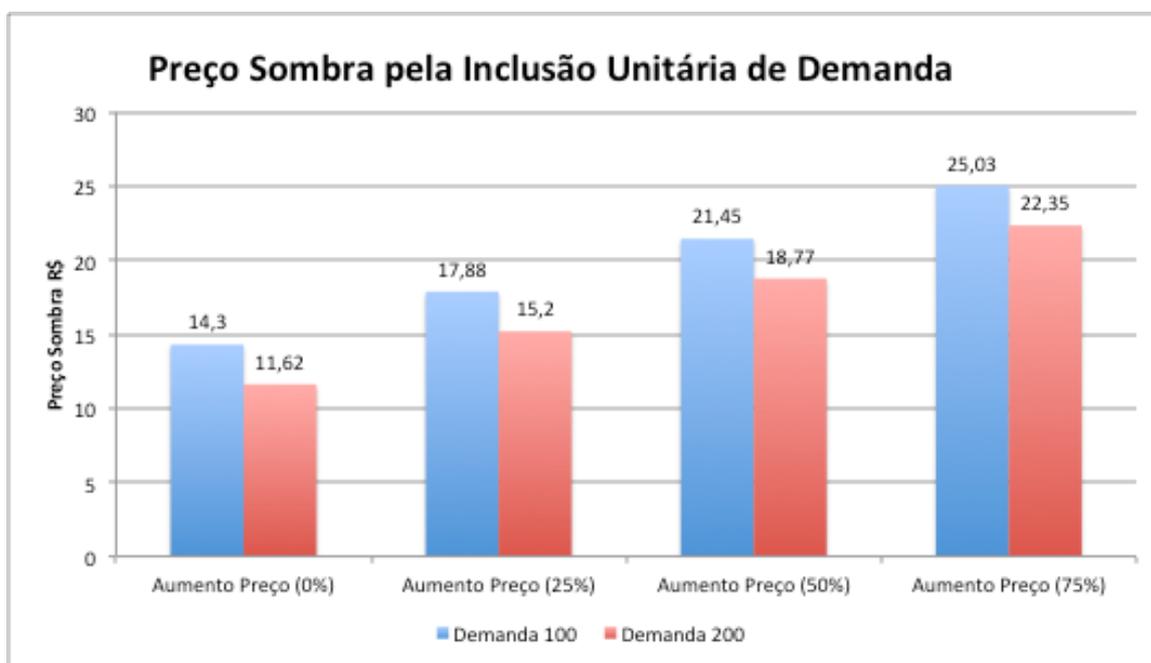


Figura 39: Preço Sombra pela Inclusão de Demanda, variando o Preço de Entrega.

8.7.1.2 Análise de Preço Sombra em Função do Custo do Veículo Extra

Na Figura 40, analisa-se o efeito da inclusão de uma unidade adicional de demanda no primeiro dia de entrega, para o preço hipotético típico de entrega (R\$14,30), e para situações sem aumento de custo de veículo extra e com aumento de 30% e 50%, para duas quantidades de demanda de chegada diária de 100 e 200 produtos. Para a demanda de 100 produtos diários (antes do atingimento da capacidade do primeiro veículo diário), o preço sombra é igual ao preço de entrega (R\$14,30) para todos os cenários já que não usa-se nenhum veículo extra.

Contudo, para a demanda de 200 produtos diários (acima da capacidade do primeiro veículo), a inclusão de uma demanda adicional representa um preço sombra menor do que o preço de entrega. Sendo R\$12,01 (redução de 16%) para o cenário sem aumento de custo do veículo extra, R\$11,59 (redução de 19%) para o caso de aumento de 30%, R\$11,17 (redução de 22%) para o caso de aumento de 50%. Portanto, observa-se que o preço sombra, reduz com o aumento do preço do veículo extra.

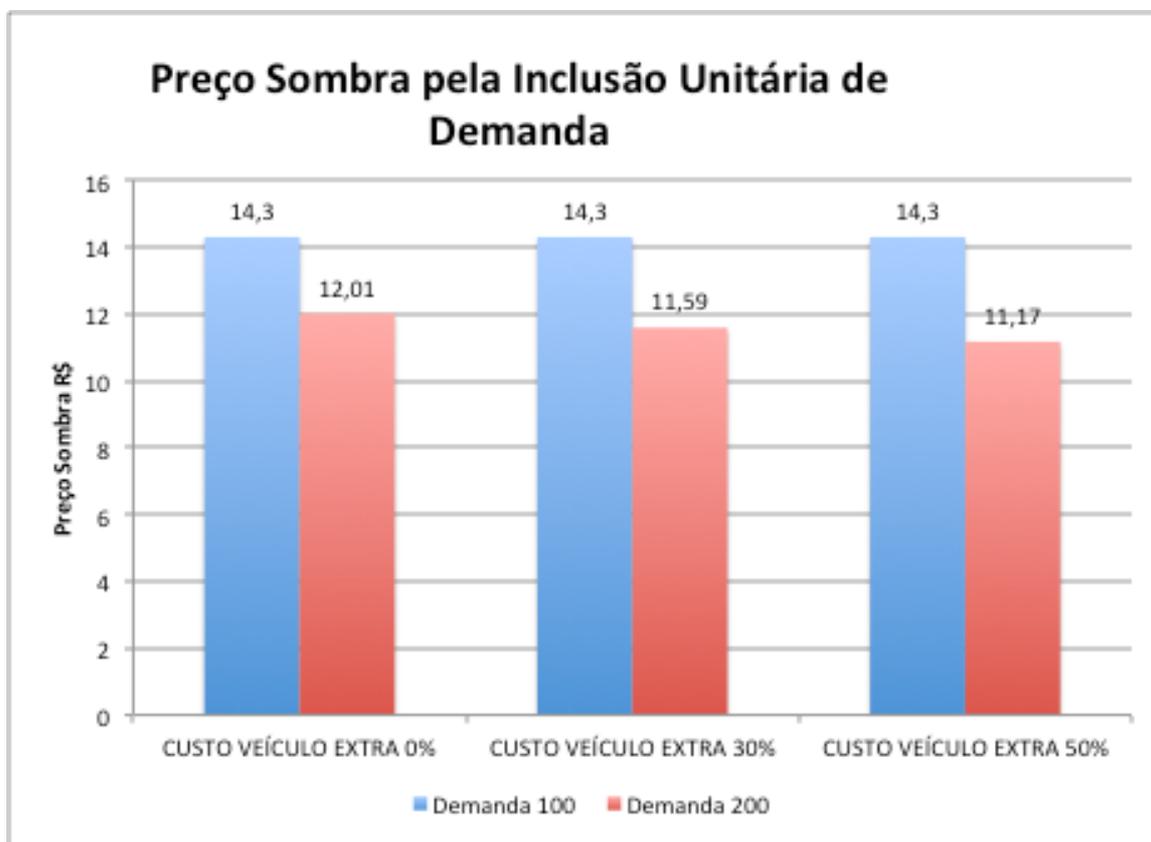


Figura 40: Preço Sombra pela Inclusão de Demanda, variando o Custo do Veículo Extra.

8.7.2 Análise de Sensibilidade - Análise de Alteração da Solução Ótima (*Lower and Upper Bound Analysis*)

A análise de alteração da solução ótima ou análise do intervalo de otimalidade (Colin, 2013) consiste do intervalo (acréscimo ou decréscimo permissível) onde o coeficiente da função objetivo pode ficar sem que a solução ótima mude. Esta definição considera que não ocorra nenhuma outra alteração nas variáveis e parâmetros da solução ótima. A seguir será mostrada a análise da alteração da solução ótima pela variação do preço de entrega de R\$11,00 em duas situações, variando-se: 1) o preço da entrega, e; 2) o custo do veículo extra.

8.7.2.1 Análise de Alteração da Solução Ótima em Função do Aumento de Preço

Na Figura 41, está a análise do intervalo de variação inferior (Lower) e superior (Upper) no preço de entrega que alteram a solução ótima, para as demandas de chegada diárias de 100 e 200 produtos. Para a demanda de chegada de 100 produtos (antes de ultrapassar a capacidade do primeiro veículo) a variação superior de preço que altera a solução ótima é de R\$3,30 (cenário sem aumento), R\$4,10 (cenário com 25% de aumento), R\$5,00 (cenário com 50% de aumento) e R\$5,80 (cenário com 75% de aumento). Para demandas de chegada abaixo da capacidade o intervalo superior de preço que muda a solução ótima é exatamente igual ao preço necessário para que se atinja o máximo preço de entrega. Conforme se esperava, o aumento do intervalo superior aumenta diretamente proporcional ao aumento de preço. Já o intervalo inferior é sempre zero, ou seja, qualquer redução incremental de preço do coeficiente não vai alterar a solução ótima.

Para o caso da demanda de 200 produtos (acima da capacidade do primeiro veículo), o intervalo superior é menor do que para a demanda de 100 produtos, ou seja, a solução ótima fica mais suscetível à mudanças. Sendo igual a R\$2,80 no cenário sem aumento de preço, R\$3,60 (29% maior do que o primeiro cenário) para um aumento de 25%, R\$4,40 (57% maior do que o primeiro cenário) para o aumento de 50% e R\$5,20 (86% maior do que o primeiro cenário) para o aumento de 75%. Observa-se que este intervalo cresce acima do aumento de preço, ou seja, aumentando-se o preço de entrega a solução ótima fica menos suscetível a mudanças.

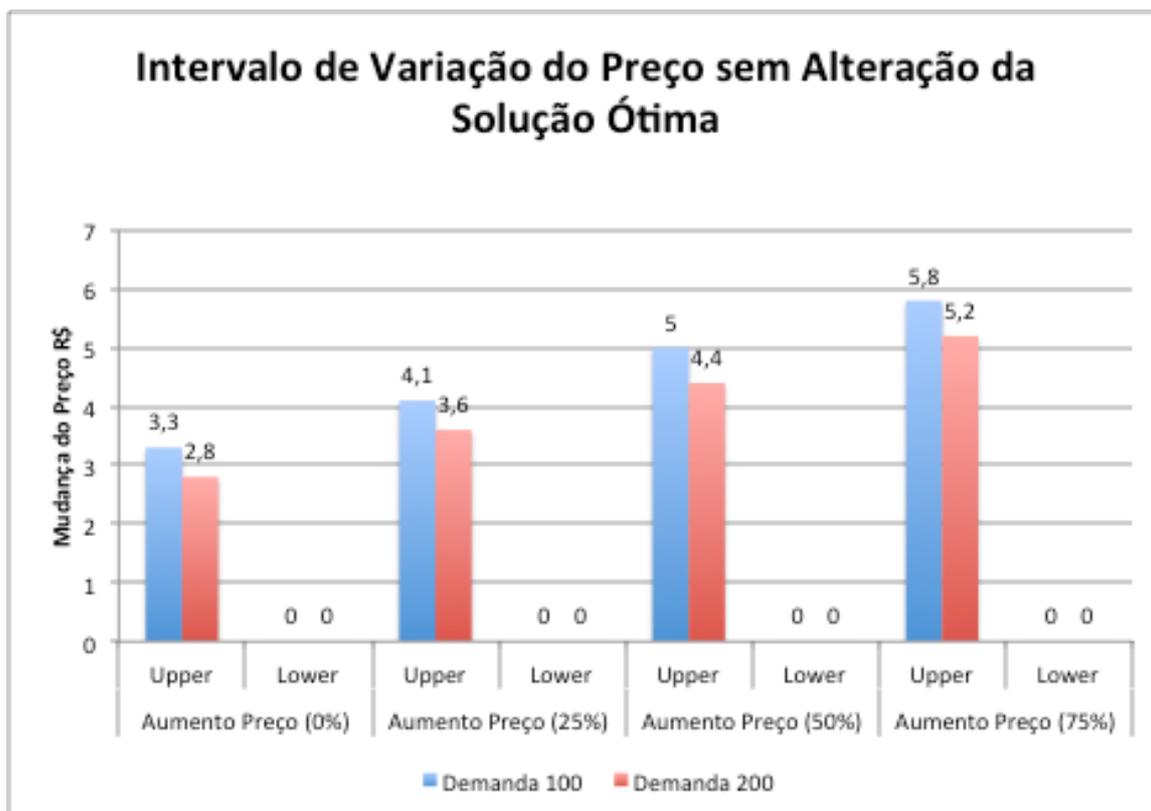


Figura 41: Alteração da Solução Ótima pelo Aumento de Preço.

8.7.2.2 Análise de Alteração da Solução Ótima em Função do Custo do Veículo Extra

A Figura 42, mostra a análise do intervalo de variação inferior (Lower) e superior (Upper) no preço de entrega que alteram a solução ótima variando o custo dos veículos extras, para as demandas de chegada diárias de 100 e 200 produtos. Para a demanda de chegada de 100 produtos (antes de ultrapassar a capacidade do primeiro veículo) a variação superior de preço que altera a solução ótima é de R\$3,30 para os três cenários. Já o intervalo inferior é sempre zero, ou seja, qualquer redução incremental de preço do coeficiente não altera a solução ótima.

Para o caso da demanda de 200 produtos (acima da capacidade do primeiro veículo), o intervalo superior é menor do que para a demanda de 100 produtos, ou seja, a solução ótima fica mais suscetível à mudanças. Sendo igual a R\$2,84 no cenário sem aumento do veículo extra, R\$2,75 para um aumento do veículo extra de 30%, R\$2,67 para o aumento de 50%. Observa-se que aumentando-se o preço do veículo extra a solução ótima fica mais suscetível a mudanças.

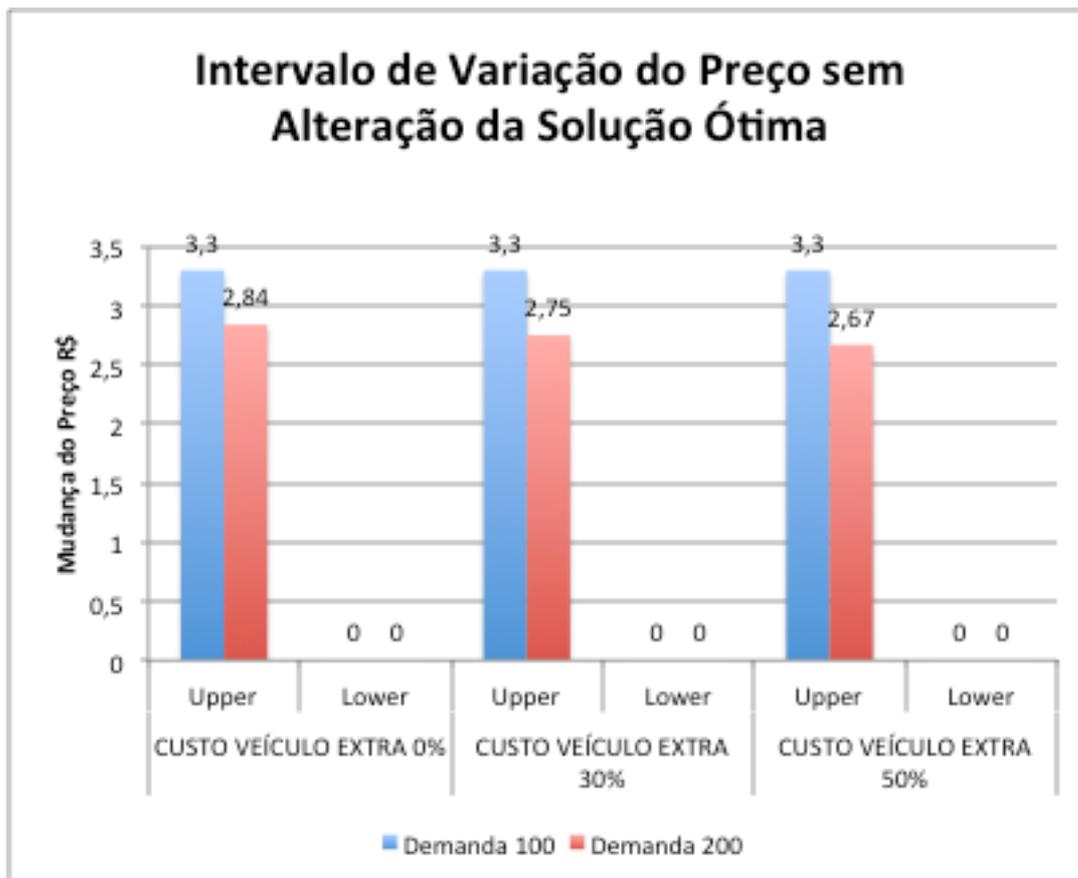


Figura 42: Alteração da Solução Ótima pelo Aumento do Veículo Extra.

9 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A maneira sistêmica de visualizar um canal de distribuição logístico compartilhado, como no caso associado de jornais e do e-commerce, adiciona fatores de grande complexidade, envolvendo questões dos contratos, parcerias e alianças e as diversas soluções operacionais, táticas e estratégicas a serem decididas.

Portanto, procurou-se uma metodologia capaz de analisar este grau de complexidade sem torná-la mais simples. A primeira etapa deste estudo envolveu construção de um modelo de apoio à decisão, considerando a cadeia de distribuição descrita, seus requisitos e relacionamentos. A segunda etapa consistiu da identificação de parâmetros, modelagem matemática, concepção de cenários e análise das decisões. Neste capítulo são descritas as conclusões da tese, de forma a mostrar suas contribuições, considerações finais, e suas perspectivas de continuidade.

9.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No atual mercado logístico de cargas, o uso de recursos terceirizados é vital para a sobrevivência, assim como o uso da tecnologia para administração das diversas frentes de serviço. Contudo, muitas empresas ainda não se adaptaram e continuam sofrendo prejuízos pela falta de conhecimento/gestão e pela má seleção dos clientes e volumes transportados. Frequentemente os valores de receita são negociados por entrega realizada, e os custos de transporte pagos por km rodado ou peso de mercadoria entregue.

Neste estudo, observou-se que, para problemas de distribuição terceirizada com rotas fixas e pesos de carregamentos variáveis, o foco na lucratividade da atividade de transportes é importante, tornando o problema mais complexo. A análise de lucratividade inclui os parâmetros de custos (fretes) e de receitas (preço de entrega), ambos provenientes de acordos e decisões comerciais.

Dentro dos fatores altamente influentes nos custos, está o formato dos contratos de terceirização/parcerias, que distribuem os riscos entre os contratantes e contratados. Pouco se estudou no Brasil sobre quais são as tarefas e instâncias mais adequadas a serem compartilhadas por cada parceiro logístico. As decisões baseiam-se muito em

tentativas empíricas com muitos erros e poucos acertos. Segundo Lee et al. (2012), o conhecimento e modelagem da distribuição dos riscos nos contratos de terceirização logística podem reduzir consideravelmente os tempos finais de entrega aos clientes e seus custos respectivos.

Detectou-se também que é vital conhecer os percentuais lucrativos de carregamento das rotas e escolher bem o mix de produtos, de forma que a receita supere os custos. Os contratos comerciais devem incluir variáveis importantes para parametrizar o processo, tais como: variabilidades de carregamento; mix de produtos do carregamento; mix de frota; prazos finais de entrega com possibilidade de postergações; e multas unitárias pela desistência das entregas.

Um fator não detalhado, mas que influencia na lucratividade, é o valor agregado dos produtos e o custo associado a sua alta atratividade aos roubos e extravios. O mix dos produtos deve levar em consideração este conhecimento de riscos, devendo receber um tratamento especial com cobranças de tarifas de entrega mais altas e coberturas adicionais de seguro, principalmente no Brasil onde o furto de cargas é elevado e crescente. Todos esses elementos mostram a complexidade do problema da logística de cargas expressas atual.

É importante conhecer quais realmente são os clientes mais lucrativos (maiores margens nas entregas, maiores frequências de carregamentos, menores volumes unitários, menores retrabalhos e extravios). É conveniente lembrar que muitas vezes a melhor estratégia pode ser reduzir os carregamentos, mantendo maiores margens por entrega e menores estruturas, para obter uma maior lucratividade.

Constatou-se que a logística de cargas rápidas é uma das áreas de serviços mais promissoras da atual economia globalizada. Ela atua fortemente com a participação de operadores terceirizados/parceiros. Contudo, essas novas relações de parcerias tem criado enormes dificuldades de controle, e elevada divergência de interesses, tornando a questão de difícil coordenação, gestão e previsão. Ao mesmo tempo é preciso otimizar ainda mais os recursos, de forma a sobreviver no mercado de forte concorrência, com maiores expectativas dos clientes, crescimento do acesso à computação, e saturação das áreas urbanas com consequente redução da mobilidade.

Observou-se também que os estudos de jornais existentes na literatura focam principalmente na roteirização e otimização de distribuição, redução de custos e de tempos de viagem, mas pouco na satisfação dos clientes e na qualidade de serviço. Por isso, também foi importante a revisão bibliográfica sobre a logística de produtos perecíveis (alimentos) que possuem características semelhantes de perecibilidade, porém com maiores variabilidades sazonais e grande foco na qualidade do produto transportado. Conclui-se que a operação conjunta de jornais e produtos de e-commerce é uma boa forma de sobrevivência para a logística de jornais, principalmente se trabalhado de forma otimizada com uso de terceirizações e parcerias. No Brasil, esta constatação é ainda mais pertinente, pois a ineficiência e custos logísticos são maiores, se comparados aos demais países desenvolvidos.

Este estudo buscou avaliar a maior parte da bibliografia sobre o tópico de logística de cargas expressas. Os aspectos levantados na bibliografia e na prática tentaram ser incluídos no modelo proposto, contudo alguns desses aspectos levantados estão intrínsecos no modelo sendo de difícil identificação. Mesmo sendo validado em caso prático, o modelo proposto pode não obter validação para todas as aplicações da logística e do transporte de cargas, ou para outros modelos operacionais diferentes de outros países e setores. Os avanços das tecnologias de compra e navegação na internet e das entregas, ou até mesmo a extinção do jornal impresso parecem inevitáveis, portanto novas exigências aparecerão. Este modelo portanto não é pleno, podendo haver muitas contribuições adicionais de novas pesquisas.

Comparando o atual cenário de logística rápida brasileira frente aos estudos dos demais países, constata-se a necessidade do incremento de: novas tecnologias de informação e rastreamento, inclusive devido ao problema de roubos de carga existentes no país; uso de veículos verdes menos poluentes, principalmente nas áreas urbanas densamente habitadas e fortemente poluídas e ruidosas; incremento da logística não motorizada, e; organização do compartilhamento e cooperativas de transportadores, de forma a agilizar as entregas e reduzir as frotas e tempos de viagem.

Neste panorama, a avançada gestão operacional e financeira utilizada na indústria aérea deve ser introduzida gradualmente no transporte de cargas terrestres.

Principalmente em casos especiais envolvendo o transporte de produtos perecíveis (entregas rápidas, com janelas de tempo e sazonalidades), capacidades e frotas limitadas, e demandas estocásticas. A rigor inclusive influenciando a modernização dos contratos e a melhoria da qualidade ofertada aos clientes.

Esta tese contribuiu ao setor da logística de cargas rodoviárias, ao propor um modelo matemático de otimização inédito na literatura que abrange a associação de jornais e e-commerce, processos multiperíodo de alocação de cargas e veículos com possibilidade de penalizações e premiações pelos prazos de entrega, frotas heterogêneas e rotas fixas. Podendo o mesmo ser replicado para várias outras finalidades de transporte e distribuição, principalmente no futuro formato de “entregas no mesmo dia” (*same-day delivery*) que será disseminado pelo mundo nos próximos anos.

O modelo proposto obteve satisfatório desempenho computacional em seus resultados, comprovado pelos curtos tempos de processamento (segundos a minutos) e obtenção dos valores de lucratividade finais e valores inteiros de cada variável do modelo para cada cenário analisado. Este modelo pode ser usado para:

- 1) organização dos processos de trabalho e seu planejamento;
- 2) escolha de quais entregas realizar;
- 3) decisão sobre o nível de serviço e prazos a cumprir;
- 4) definição da demanda de chegada a ser atendida;
- 5) escolha do mix de clientes;
- 6) decisão de transportadores terceirizados/parceiros a contratar;
- 7) opção de rotas a atender;
- 8) contratação de frota e tamanho de veículos a utilizar;
- 9) escolha dos tipos/mix de produtos a entregar;
- 10) decisão de uso de frota extra e valores a serem pagos por ela;
- 11) elaboração de multas a pagar por não transportar;

- 12) possibilidade de postergações de carregamentos e definição dos prazos finais de entrega;
- 13) definição de penalizações possíveis de pagar pelas postergações;
- 14) atribuição de custos de transporte a serem pagos;
- 15) decisão dos valores a cobrar pelas entregas;
- 16) uso ou não da capacidade ociosa dos veículos;
- 17) definição dos tipos de parcerias/compartilhamento a realizar;
- 18) elaboração de contratos e valores respectivos;
- 19) possibilidade de compartilhamento do transporte com produtos perecíveis;
- 20) análise de cenários e alternativas;
- 21) decisão nos diversos níveis hierárquicos da cadeia (transporte interestadual, pré e pós CDs);
- 22) decisões de caráter: operacional – alocação de cargas e veículos e postergações; tático – escolha de clientes, produtos e frotas, e; estratégico – contratos, prazos de entrega, aquisição de recursos, e configuração da rede;
- 23) conhecimento do ponto de equilíbrio dos carregamentos;
- 24) redução de riscos contratuais, possibilitando melhores negociações;
- 25) conhecimento de como cada contrato impacta na lucratividade;
- 26) decisão da quantidade de contratos/parceiros a trabalhar.

As principais conclusões obtidas com as análises de cenários foram: a obtenção do menor ganho foi conseguido sem a postergação de entrega, modo comumente operado pelo mercado; a postergação de carregamentos permitiu ganhos relevantes de lucratividade; o ganho percentual com a postergação de carregamentos diminuiu com o aumento da demanda de chegada, devido à redução do impacto do preço de um veículo extra necessário sobre o montante da receita, e; o problema de Programação Linear Não Inteira não demonstrou diferença de ganho postergando ou não o carregamento.

9.2 CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando que o modelo proposto é um modelo de transporte compartilhado de caráter matemático e multiperíodo, outros estudos que possibilitem o transporte compartilhado de passageiros e de cargas com a possibilidade de postergação de carregamentos seriam interessantes para o avanço teórico. Portanto, aconselha-se seu uso além do transporte pré-CD e da área de logística de jornais e e-commerce, como no transporte de outros produtos perecíveis (alimentos, medicamentos), transporte rodoviário de cargas e passageiros, transporte ferroviário em contêineres, e até mesmo aéreo que compartilha cargas e passageiros, etc.

Sugere-se a aplicação da modelagem compartilhada nos diversos locais do mundo, principalmente ligada aos novos serviços de entrega no mesmo dia (“Same-day Delivery”). Por fim, deve-se promover trabalhos envolvendo modelagens com maior número de variáveis e intervalos diferentes das variáveis analisadas, e a pesquisa com o emprego de métodos aproximativos de resolução, considerando várias rotas e níveis da cadeia, inclusive possibilitando trocar os veículos dos vários transportadores entre as rotas.

10 REFERÊNCIAS

- Alagheband, F., Rivard, S. Wu, S., and Goyette, S. (2011) An Assesment of the Use od Transaction Cost Theory in Information Technology Outsourcing. *Journal of Strategic Information Systems* 20, p.125-138.
- Amaral, J. e Guerreiro, R. (2014) O Custo Total e as Soluções Logísticas. *Revista Ambiente Contábil*, Natal-RN, v.6, n.1, p.64-82.
- Andrade, M. M. (2001) *Introdução à Metodologia do Trabalho Científico*. 5a Edição. Editora Atlas.
- ANJ – Associação Nacional de Jornais (2015) Jornais: breve história. Extraído da internet em 17/09/2015 em <http://www.anj.org.br/jornais-breve-historia-2/>.
- ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos (1997) *Transporte Humano: cidades com qualidade de vida*.
- Araújo, R. R. (2010) *Uma Abordagem de Resolução Integrada para os Problemas de Roteirização e Carregamento de Veículos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP/UFRGS.
- Archetti, C., Doerner, K. and Tricoire, F. (2013) A Heuristic Algorithm for Free Newspaper Delivery Problem. *European Journal of Operational Research* 230 pg 245-257.
- Azadian, F., Murad, A. And Chinnan, R. (2015) Integrated production and logistics planning: Contract manufacturing and choice of air/surface transportation. *European Journal of Operational Research*. Volume 247, Issue 1, 16 November 2015, Pages 113–123.
- Ballou, R. H. (2006) *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial*. Editora Bookman.
- Ballou, R. H (2011) *Logística Empresarial, Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física*. Editora Atlas.
- Bandeira, R., Mello, L. e Maçada, A. (2012) Elementos de Flexibilidade em Contratos de Terceirização Logística: o caso de uma empresa de telecomunicações. *Revista Produção*, v.22, n.2, p.237-248.
- Barbosa, D., Musetti, M., e Consoli, M. (2007) Alianças Estratégicas na Cadeia de Suprimentos: um estudo de caso. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, PR.
- Barford, M. and Salling, K. (2015) A New Composite Decision Support Framework for Strategic and Sustainable Transport Appraisals. *Transportation Research Part A* 72, pg 1-15.
- Ben-Akiva, M., Meersman, H., and Voorde, E. V. (2013) *Freight Transport Modelling*. Emerald, Bingley, UK.
- Bergue, L. X. (2000) *Análise das Potencialidades do Uso da Ferramenta de Simulação Computacional em Operações Logísticas: estudo de caso em armazém geral*. Dissertação de Mestrado, PPGEP, UFRGS.
- Billaney, J. (2012) Hull College: design and development of a higher level apprenticeship in express logistics. *Higher Education, Skills and Work- based Learning*. Vol. 2 No. 3, 2012 pp. 340-343.
- Bispo, C. A. (1998) *Uma Análise da Nova Geração de Sistemas de Apoio à Decisão*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos.
- Black, W. (2010) *Sustainable Transportation: problems and solutions*. The Guilford Press.

- Blanchard, D. (2008) Supply Chain Guru: a supply chain network design software solution from Llamasoft Inc. Industry Week, vol 257.
- Böhnlein, D., Schweiger, K. and Tuma, A. (2011) Multi-agent-based Transport Planning in the Newspaper Industry. International Journal of Production Economics 131 pag 146-157.
- Bowersox, D., Closs, D. & Cooper, M. B. (2009) Supply Chain Logistics Management. McGraw-Hill. NY.
- Brasileiro, A., Orrico Filho, R. D., Santos, E. M. e Aragão, J. J. G. (1996) Ônibus Urbano. Regulamentação e mercados. 1. ed. Brasília: L.G.E.
- Bruno, G., Esposito, E. and Genovese, A. (2015) A Model for Aircraft Evaluation to Support Strategic Decisions. Expert Systems with Applications 42, pg 5580-5590.
- Camelo, G., Coelho, A. e Borges, R. (2010) Alianças Estratégicas com Fornecedores: um estudo sobre a evolução do relacionamento cliente-fornecedor nos processos logísticos. Semana de Engenharia de Produção Sul-americana.
- Caramia, M & Dell'Olmo, P. (2008) Multi-objective Management in Freight Logistics: increasing capacity. Springer, London.
- Cardoso, L., Souza, M. Rodrigues, G. (2004) Metaheurísticas Aplicadas ao Problema de Programação de Tripulações no Sistema de Transporte Público. Tend. Mat. Apl. Computação, nº2.
- Carvalho, L. S. (2006) Análise das Potencialidades e Vantagens do Uso da Simulação Computacional em Operações Logísticas Complexas, como Ferramenta de Auxílio à tomada de Decisões: estudo de caso em uma organização industrial. Dissertação de Mestrado. Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia.
- Cascetta, E. (2009) Transportation Systems Analysis: Models and Applications. Italy, Springer.
- Cascetta, E., Carteni, A., Pagliara F. and Montanino, M. (2015) A New Look at Planning and Designing Transportation Systems: A decision-making model based on cognitive rationality, stakeholder engagement and quantitative methods. Transport Policy 38, pg 27-39.
- Caxito, F. (2011) Logística: um Enfoque Prático. Editora Saraiva.
- Cervo, A., Bervian, P. e Da Silva, R. (2007) Metodologia Científica. 6ª Edição. Editora Pearson.
- César, F., Giuliani A., e Neto, M. (2006) Alianças Estratégicas de Concorrência Colaborativa e Logística Integrada no Varejo de Distribuição. In: Marketing de Varejo II, Ottoni Editora, v. 02, p.78-106.
- Chew, E., Huang, H., Johnson, E., Nemhauser, G., Sokol, J. and Leong, C. (2006) Short-term Booking of Air Cargo Space (2006) European Journal of Operational Research 174, pg 1979-1990.
- Chopra, S. e Meindl, P. (2003) Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. Estratégia, Planejamento e Operação. Pearson Prentice Hall, São Paulo.
- Chopra, S. e Meindl, P. (2011) Gestão da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operações. Pearson Prentice Hall, São Paulo.
- Chow, H., Choy K., e Lee W. (2007) A dynamic logistics process knowledge-based system – An RFID multi-agent approach. Knowledge-Based Systems 20 (2007) 357–372.
- Christopher, M. (1997) Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços. Editora Pioneira.

- Christopher, M. (1999) *O Marketing da Logística. Otimizando processos para aproximar fornecedores e clients*. Editora Futura.
- Christopher, M. (2012) *Logistics & Supply Chain Management*. Prentice Hall.
- Christopher, M. and Jüttner, U. (2000) *Developing Strategic Partnerships in the Supply Chain: a practitioner perspective*. *European Journal of Purchasing & Supply Management* 6, pg 117-127.
- CNT – Confederação Nacional de Transportes (2010) *Plano CNT de Logística 2010*.
- Colin, E. (2013) *Pesquisa Operacional: 170 aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas*. Editora LTC.
- Conde, M. R. (2013) *Incorporação da Dimensão Ambiental no Planejamento de longo Prazo da Expansão da Geração de Energia Elétrica por Meio de Técnicas Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão*. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético COPPE/UFRJ.
- Corrêa, H. L. (2010) *Gestão de Redes de Suprimento: Integrando Cadeias de Suprimento no Mundo Globalizado*. Editora Atlas.
- Costa, R. (2007) *Considerações sobre a Terceirização da Logística e uma Metodologia de Classificação para os Party Logistics*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Cui, L., Su, S. I. e Hertz, S. (2012) *Logistics Innovation in China*. *Transportation Journal* 51 (1).
- Daganzo, C. (1991) *Logistics Systems Analysis*. Springer-Verlag.
- EcommerceBrasil (2015) *História do E-commerce*. Extraído da internet em 17/09/2015 em <https://www.ecommercebrasil.com.br/noticias/infografico-um-pouco-da-historia-do-e-commerce/>.
- Ehrlich, P. J. (1996) *Modelos Quantitativos de Apoio às Decisões*. *Revista da Administração de Empresas*. São Paulo, v. 36, n1, pg. 33-41.
- Engblom, J, Solakivi, T., Töyli, J., and Ojala, L. (2012) *Multiple-Method Analysis of Logistics Costs*. *International Journal of Production Economics* 137, pg. 29-35.
- Ensslin, L., Giffhorn, E., Ensslin, S., Petri, S. e Vianna, W. (2010) *Avaliação do Desempenho de Empresas Terceirizadas com o Uso da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista*. *Revista Pesquisa Operacional*, v. 30, n1, pg. 125-152.
- Faria, A. C. e Costa, M. F. (2008) *Gestão de Custos Logísticos*. Editora Atlas.
- Finamore, F. G., Tanganelli, M. Z., Nishino, T. Gramari, V. (2007) *Fatores Relevantes da Logística Expressa (Porta a Porta) na Ótica dos MPes*. Mackenzie, SP.
- Fleury, P., Avila, M. e Wanke, P. (1997) *Em Busca da Eficiência no Transporte Terceirizado: estrutura de custos, parcerias e eliminação de desperdícios*. *Revista Gestão e Produção* v.4, n.2, p. 219-233.
- Frank, R. H. (1994) *Microeconomia e Comportamento*. McGraw-Hill, Portugal.
- Fuerth, L. R. (2007) *O E-commerce e a Integração Logística no Transporte de Carga Expressa*. Universidade Estácio de Sá, São Gonçalo, RJ.
- Gallea, D., Ghobadian, A. and Chen, W. (2012) *Corporate Responsibility, Supply Chain Partnership and Performance: an empirical examination*. *International Journal of Production Economics* 140, pg 83-91.

- Gebresenbet, G., Ljungberg, D., Nordmark, I. and Cardoso, M. (2013) Local Food Producers and Their Supply and Marketing Channels in Sweden. 13th World Conference on Transportation Research.
- Goldberg, M. e Luna, H. (2000) Otimização Combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos. Editora Campus.
- Govindan, K., Palaniappan, M., Zhu, Q. And Kannan, D. (2012) Analysis of Third Party Reverse Logistics Provider using Interpretative Structural Modeling. International Journal of Production Economics 140, pg 204-211.
- Grönroos, C. (2000) Service Management and Marketing. John Wiley & Sons, Ltd.
- Han, D. L., Tang, L. C., and Huang, H. C (2010) A Markov Model for Single-Leg Air Cargo Revenue Management under a Bid-Price Policy. European Journal of Operational Research 200, pg. 800-811.
- Hara, C. M. (2011) Logística: armazenagem, distribuição e trade marketing. Alínea Editora.
- Hensher, D., Brewer, A. (2004) Transport: an economics and management perspective. Oxford Press.
- House, R. and Stank, T. (2001) Insight from Industry: insight from a logistics partnership. Supply Chain Management: An International Journal, V. 6, n1, pg16.
- Iannoni, A. and Morabito, R. (2006) A Discrete Simulation Analysis of a Logistics Supply System. Transportation Research Part E 42, pg 191-210.
- Intelog – Inteligência em Gestão Logística (2015) Custo logístico brasileiro alcança R\$ 635 bilhões. Reportagem extraída da web em 15/09/2015: http://www.intelog.net/site/default.asp?TroncoID=907492&Secaoid=508074&Subsecaoid=715548&Template=../artigosnoticias/user_exibir.asp&ID=775104&Titulo=Custo%20log%EDstico%20brasileiro%20alcan%E7a%20R%24%20635%20bilh%F5es.
- lunes, R. F. (1995). A concepção econômica de custos. Piola SF, Vianna SM, organizadores. Economia da saúde: conceitos e contribuições para a gestão da saúde. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 227-48.
- Karmarkar, U. and Yoo J. (1994) The Stochastic Dynamic Product Cycling Problem. European Journal of Operational Research 73, p 360-373.
- Kleijnen, J. (2005) Supply Chain Simulation Tools and Techniques: a survey. International Journal of Simulation & Process Modelling, Vol 1.
- Klibi, W., Lasalle, F. and Martel, A. (2010) The Stochastic Multiperiod Location Transportation Problem. Transportation Science, Vol. 44, No 2, pp 221-237.
- Kobayashi, S. (2000) Renovação da Logística. Como Definir Estratégias de Distribuição Física Global. Editora Atlas.
- Kumar, S., Muddada, R., Pandey, M., Mahanty, B., & Tiwari, M. (2013) Logistics planning and inventory optimization using swarm intelligence: a third party perspective. Int J Adv Manuf Technol 65:1535–1551.
- Lachtermacher, G. (2002) Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões. Editora Campus.
- Lachtermacher, G. (2009) Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões. 4a Edição. Editora Pearson.
- Laudon, K. & Laudon, J. (2007) Sistemas de Informação Gerenciais. 7a Edição. Editora Pearson.
- Lee, C. K. M., Yeung, Y. C. e Hong, Z. (2012) An Integrated Framework for Outsourcing Risk Management. Industrial Management & Data Systems, Vol. 112, nº 4.

- Lewis, J. (1992) *Alianças Estratégicas: estruturando e administrando parcerias para o aumento da lucratividade*. Pioneira Editora.
- Ljungberg, D., Jüriado, R. and Gebresenbet, G. (2013) Conceptual Model for Improving Local Food Supply Chain Logistics. 13th World Conference on Transportation Research.
- Lyrio, M., Prates, W., Lima, M. V., e Lunkes, R. J. (2015) Análise da Implementação de uma Estratégia de Investimento em Ações baseada em um Instrumento de Apoio à Decisão. *Contaduría y Administración* 60, n 1, pg 113-143.
- Luo, S., Çakanyildirim, M. and Kasilingam, R. (2009) Two-dimensional Cargo Overbooking Models. *European Journal of Operational Research* 197, pg. 862-883.
- Ortúzar, J., Willumsen, L. (2009) *Modelling Transport: Third Edition*. Wiley & Sons, Ltd.
- Oxford Economic Forecasting (2005) *The Impact of the Express Delivery Industry on the Global Economy*. Oxford, UK.
- Malhotra, N. (2010) *Marketing Research: an Applied Orientation*, 6th Edition. Prentice Hall.
- Manzari, P., Dini, B., Jalilvand, M. (2011) The Effect of Electronic Commerce in Business Value and Supply Chain Process: Evidence from Iran. *International Business and Management*, Vol. 3, No. 2, 2011, pp. 46-62.
- Marins, F. A. S. (2011) *Roteirização de Veículos*. Apostila de Aula UNESP.
- Matthyssens, P. and Bulte, C. V. (1994) Getting Closer and Nicer: Partnerships in the Supply Chain. *Long Range Planning*, V.27 n1 pg 72-83.
- Mayer, M. and Scholz, A. B. (2012) An Assessment of Economic Costs of Cargo Transporting Airlines by the Use of a Structural Cost Function. *Journal of Air Transport Management* 25.
- Meng, Q., Zhou, N., Tian, J., Chen, Y., Zhou, F. (2011) Analysis of Logistics Service Attributes Based on Quantitative Kano Model: A Case Study of Express Delivering Industries in China. *Journal of Service Science and Management*, v.4, 42-51.
- Morita, M., Machuca, J., Flynn, E., Ríos, J. (2015) Aligning product characteristics and the supply chain process – A normative perspective. *Int. J. Production Economics* 161 (2015) 228–241.
- Motte-Baumvol, B., Belton-Chevallier, L. And Thevenin, T. (2013) The effects of home delivery on access to food products: the case of supermarkets and cybermarkets in the metropolitan area of Dijon (France). 13th World Conference on Transportation Research.
- Moynihan G., Pravin R., Sterling, J., and Nichols W. (1995) Decision support system for strategic logistics planning. *Computers in Industry* 26 (1995)75-84.
- Nenni, M. (2013) A Cost Model for Integrated Logistic Support Activities. *Advances in Operations Research*, V.2013.
- Novaes, A. G. (1989) *Sistemas Logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos*. São Paulo, Editora Edgard Blücher.
- Novaes, A. G. (2001) *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição*. Rio de Janeiro. Editora Campus.
- Novaes, A. G., Scholz-Reiter, B., Bez, E. T., Burin, P. J. (2011) An Agent-Based Approach to Improve Urban Vehicle Routing Operations. XXV Anpet, Belo Horizonte.
- Novaes, A. G., Lima Jr., O., Carvalho, C. And Takebayashi, F. (2013) Routing Effects on the Thermal Performance of Refrigerated Vehicles in the Distribution of Perishable Products. 13th World Conference on Transportation Research.

- Oliveira, E. P. (2007) Modelo Conceitual de um Sistema de Apoio à Decisão, para Gestores de Logística e Transporte em Canais de Exportação Agrícola. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Oliveira, M., Rodrigues, L., e Ribeiro, L. (2011) Alianças Estratégicas como Vantagem Competitiva no Cenário Logístico Globalizado. *Future Studies Research Journal*, v.3, n.2, p.171-192.
- Pastore, P., Guimarães, A. e Diallo, M. (2010) Simulação Computacional Aplicada à Logística de Distribuição de Uniformes da Marinha do Brasil. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, SP, Brasil.
- Pereira, P. A. (2009) Um Sistema de Apoio à Decisão Baseado em Optimização para o Planeamento da Auto-promoção de uma Estação de Televisão. Tese de Doutorado do Departamento de Matemática para a Ciência e Tecnologia da Universidade do Minho, Portugal.
- Pietro, R. (2003) Co-ordination and integration mechanisms to manage logistics processes across supply networks. *Journal of Purchasing & Supply Management* 9 (2003) 119–134.
- Qin, Z. and Ding, X. (2011) Risk Migration in Supply Chain Inventory Financing Service. *Journal of Service Science and Management*, 2011, 4, 222-226.
- Reis, S. and Leal, J. E. (2015) A Deterministic Mathematical Model to Support Temporal and Spatial Decisions of the Soybean Supply Chain. *Journal of Transport Geography* 43, pg 48-58.
- Ribeiro, M., Rocha, J., Silva, J. e Sampaio, L. (2007) Comakership: uma parceria entre fornecedor e cliente. *Caderno Unisalesiano*.
- Romano, P. (2003) Co-ordination and integration mechanisms to manage logistics processes across supply networks. *Journal of Purchasing & Supply Management* 9 (2003) 119–134.
- Ross, D. F. (2015) *Distribution Planning and Control: Management in the Era of Supply Chain Management*. Springer.
- Russell, R., Chiang, W., e Zepeda, D. (2008) Integrating Multi-Product Production and Distribution in Newspaper Logistics. *Computers & Operations Research* 35, pg 1576-1588.
- Simonetto E. e Borenstein, D. (2006) Gestão Operacional da Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos – abordagem utilizando um sistema de apoio à decisão. *Gestão e Produção*, v13, n3, pg 449-461.
- Song, S. H., Lee, K. S., Kim, G. S. (2002) A Practical Approach to Solve a Newspaper Logistics Problem using a Digital Map. *Computers & Industrial Engineering* 43 pg 315-330.
- Sousa, F. (2004) Gerenciamento da Qualidade no Transporte Coletivo de Longa Distância por Ônibus. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP/UFRGS.
- Souza, R., Guerreiro, R., and Oliveira, M. (2015) Relationship between the maturity of supply chain process management and the organisational life cycle. *Business Process Management Journal* Vol. 21 No. 3, 2015 pp. 466-481.

- Strandenes, S. P. (2013) Freight Transport Pricing Models. In: Freight Transport Modelling. Emerald, Bingley, UK, eds: Ben-Akiva, M., Meersman, H., and Voorde, E. V.
- Taha, H. (2008) Pesquisa Operacional. 8a edição. Editora Pearson.
- Taniguchi, E., Thompson, R. and Yamada, T. (2012) Emerging Techniques for Enhancing the Practical Application of City Logistics Models. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 39, pg 3-18.
- Tate, K. (1996) The Elements of Successful Logistics Partnership. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol 26, n3.
- Teo, J., Taniguchi, E. and Qureshi, A. (2012) Evaluating City Logistics Measure in E-commerce with Multi-Agent Systems. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 39, pg 349-359.
- Tian, Y., Lai, F., e Daniel, F. (2008) An Examination of the Nature of Trust in Logistics Outsourcing Relationship: empirical evidence from China. *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 108, n°3, 2008.
- Tsamboulas, D. (2013) Rationalisation of Transport of Perishable Goods and Foodstuffs, Through Efficient Transport Supply Chains. 13th World Conference on Transportation Research.
- Turban, E., Rainer, Jr. R e Potter, R. (2007) Introdução a Sistemas de Informação. Editora Campus.
- Turkensteen, M. and Klose, A. (2012) Demand Dispersion and Logistics Costs in One-to Many Distribution Systems. *European Journal of Operational Research* 223, pg. 499-507.
- Turskis, Z., Zavadskas, E. K., e Peldschus, F. (2009) Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management. *Engineering Economics*, n1 (61).
- Valente, A. M., Novaes, A. G., Passaglia, E., Vieira, H. (2008) Gerenciamento de Transporte e Frotas. Cengage Learning.
- Valor Econômico (2015) Comércio eletrônico deve crescer 17,3% em 2015. Extraído da internet em 16/09/2015 no link <http://www.valor.com.br/empresas/4139880/comercio-eletronico-deve-crescer-173-em-2015-preve-emarketer-ou-as-ferramentas-oferecidas-na-pagina>.
- Varian, H. R. (2000) Microeconomia: uma abordagem moderna. Editora Campus.
- Voigtmann, J. and Weimar, B. (2010) Construction Logistics Planning by Simulation. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*.
- Wang, Y., Caron, F., Vanthienen, J., Huang, L., and Guo, Y. (2014) Acquiring logistics process intelligence: Methodology and an application for a Chinese bulk port. *Expert Systems with Applications* 41 (2014) 195–209.
- Wanke, P. (2010) Logística e Transporte de Cargas no Brasil. COPPEAD, Editora Atlas.
- Wlendahl, H., Clemlnskl, G., and Begemann C. (2003) A Systematic Approach for Ensuring the Logistic Process Reliability of Supply Chains. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2003, Vol.52(1), pp.375-380.
- Wong, E., Tai, A., Lau, H. and Raman, M. (2015) An Utility-based Decision Support Sustainability Model in Slow Steaming Maritime Operations. *Transportation Research Part E* 78, pg 57-69.

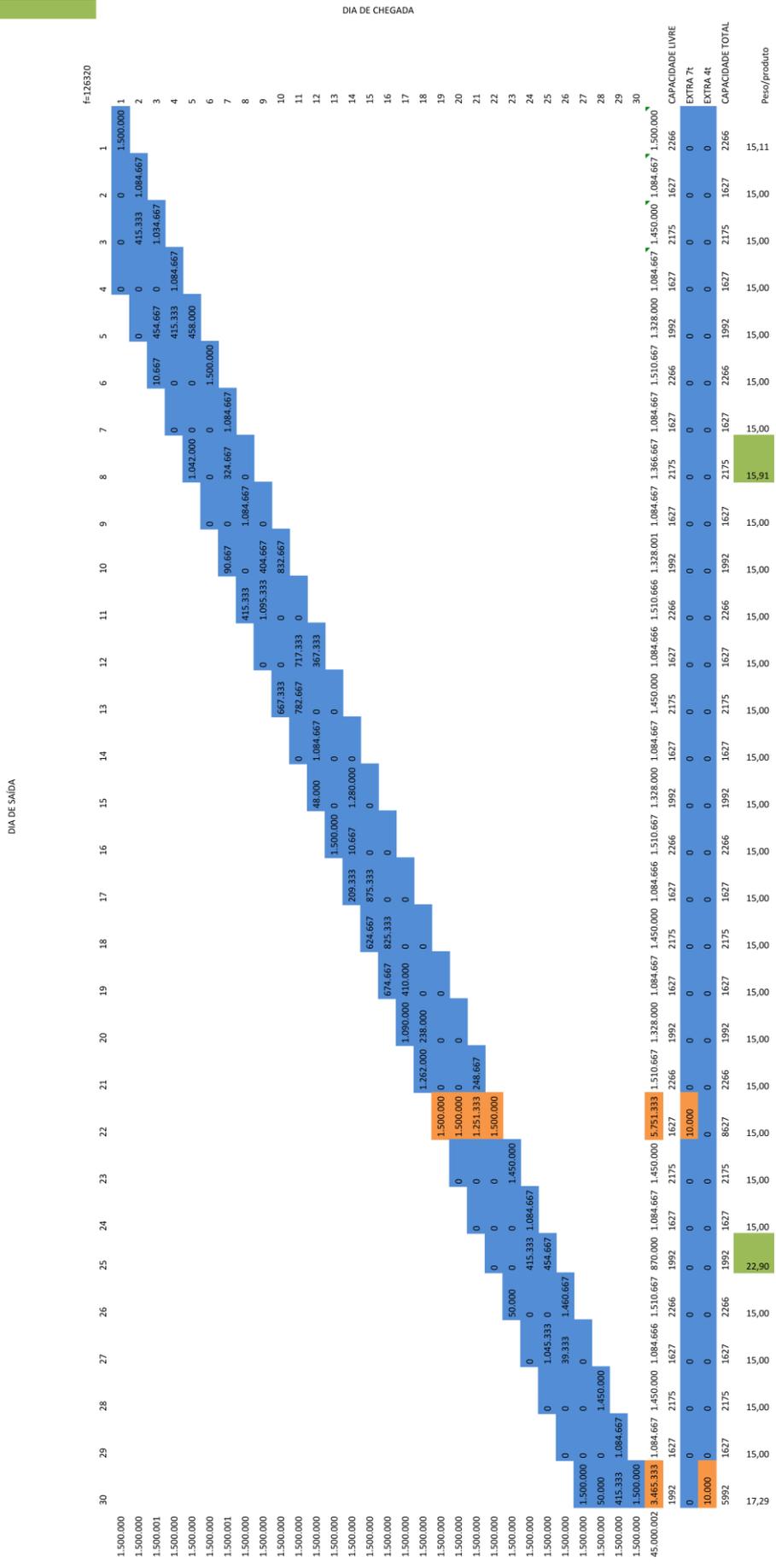
- Xiong, Q. (2013) Stochastic Discrete-Time Model and Simulation of Inventory Management System. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 6 (21): 3974-3977.
- Xu, X., Cheng, X. and Sun, Y. (2015) Coordination Contracts for Outsourcing Supply Chain with Financial Constraint. *International Journal of Production Economics* 162, pg 134-142.
- Yamashita, D. S. e Morabito, R. (2007) Um Algoritmo Branch-and-Bound para o Problema de Programação de Projetos com Custo de Disponibilidade de Recursos e Múltiplos Modos. *Gestão da Produção* vol.14 no.3 São Carlos Sept./Dec. 2007.
- Ying, W. and Dayong, S. (2005) Multi-agent Framework for Third Party Logistics in E-commerce. *Expert Systems with Applications* 29, pg 431-436.
- Zhao, X. and Shi, C. (2011) Structuring and Contracting in Competing Supply Chains. *International Journal of Production Economics* 134, pg 434-446.

**11 APÊNDICE 1 – RESUMO DA ANÁLISE DO TEMPO MÁXIMO DE POSTERGAÇÃO PARA
DEMANDA DE CHEGADA IGUAL A 150 PRODUTOS POR DIA**

DIA DE SAÍDA

	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1									
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							
1.500.000																																							

3 DIAS



Peso/produto

15,11

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

15,00

SEM POSTERGAÇÃO PRODUTO 1(15kg)

