

MODELO DE DISTRIBUIÇÃO COMPARTILHADA DE JORNAIS E E-COMMERCE

Felipe Brum de Brito Sousa*

Rafael Roco de Araújo**

Fernando Dutra Michel*

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGE - UFRGS

**PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

RESUMO

A disponibilização de notícias e leitura on-line através de smartphones, tablets e computadores tem reduzido a venda de jornais impressos no mundo. 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 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 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.

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. 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 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, 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.

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

1. INTRODUÇÃO

Segundo E-commerce Brasil (2015), em 1979 Michael Aldrich criou o primeiro sistema capaz de processar transações online. 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.

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). 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). As vendas on-line no Brasil atingiram US\$ 19,79 bilhões em 2015 com alta de 17,3% sobre 2014 (Valor Econômico, 2015).

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. Como a logística de jornais transporta um produto altamente perecível, 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. Este trabalho tem como objetivo elaborar um modelo de apoio à decisão para o planejamento da distribuição física compartilhada de jornais e produtos de e-commerce.

2. A LOGÍSTICA COMPARTILHADA

2.1. 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 1 e 2).

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.

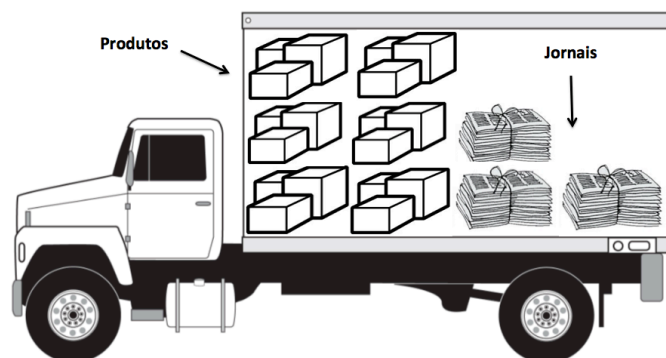


Figura 1: Aproveitamento da Capacidade na Logística de Distribuição de Jornais e E-commerce (Fonte: Elaborado pelo Autor).

O transporte de cargas aéreas movimentava aproximadamente US\$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 2: Aproveitamento no Transporte Aéreo (Fonte: Elaborado pelo Autor).

2.2. 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; Sousa, 2016). A Pesquisa Operacional abrange métodos exatos, aproximativos (heurísticas) (Ehrlich, 1996), teoria de filas, teoria dos jogos, sistemas e processamentos.

Os modelos logísticos de otimização/heurísticas podem incorporar elementos multiperíodo 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. 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). A Figura 3 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 deste estudo, 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.

2.3. 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 estudo, pois produtos e veículos não podem ser divididos. Matematicamente, um problema de Programação Linear Inteira pode ser descrito da seguinte forma (Equação 1):

ESTUDO	Mayer & Scholz (2012)	Chew et al.(2006)	Han et al. (2010)	Luo et al. (2009)	Klibi 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 vôo 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 multiproduto e 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 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 (l), 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/postergação 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 3: Comparativo dos estudos de carregamento logístico por otimizações/heurísticas.

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

Sujeito a:

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

$$x_1, x_2, \dots, x_n \text{ são inteiros}$$

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.

Neste estudo 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.

3. LOGÍSTICA COMPARTILHADA DE JORNAIS E E-COMMERCE

A descrição da logística compartilhada de jornais e produtos de e-commerce é o que suporta o modelo deste trabalho. A Figura 4 resume o funcionamento da distribuição física de Jornais e e-commerce típica brasileira denominada de sistema compartilhado (Novaes, 1989). 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.

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 4.

4. MODELO MULTIPERÍODO DE DE JORNAIS E-COMMERCE

Segundo Stranden (2013) este modelo pode ser denominado de Modelo Real de duas partes (receitas e custos) com fatores fixos e variáveis componentes. Partindo-se das características de um modelo completo estático no tempo, chega-se ao seu refinamento através de um modelo multiperíodo com possibilidade de postergação de carregamentos, otimizando 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.

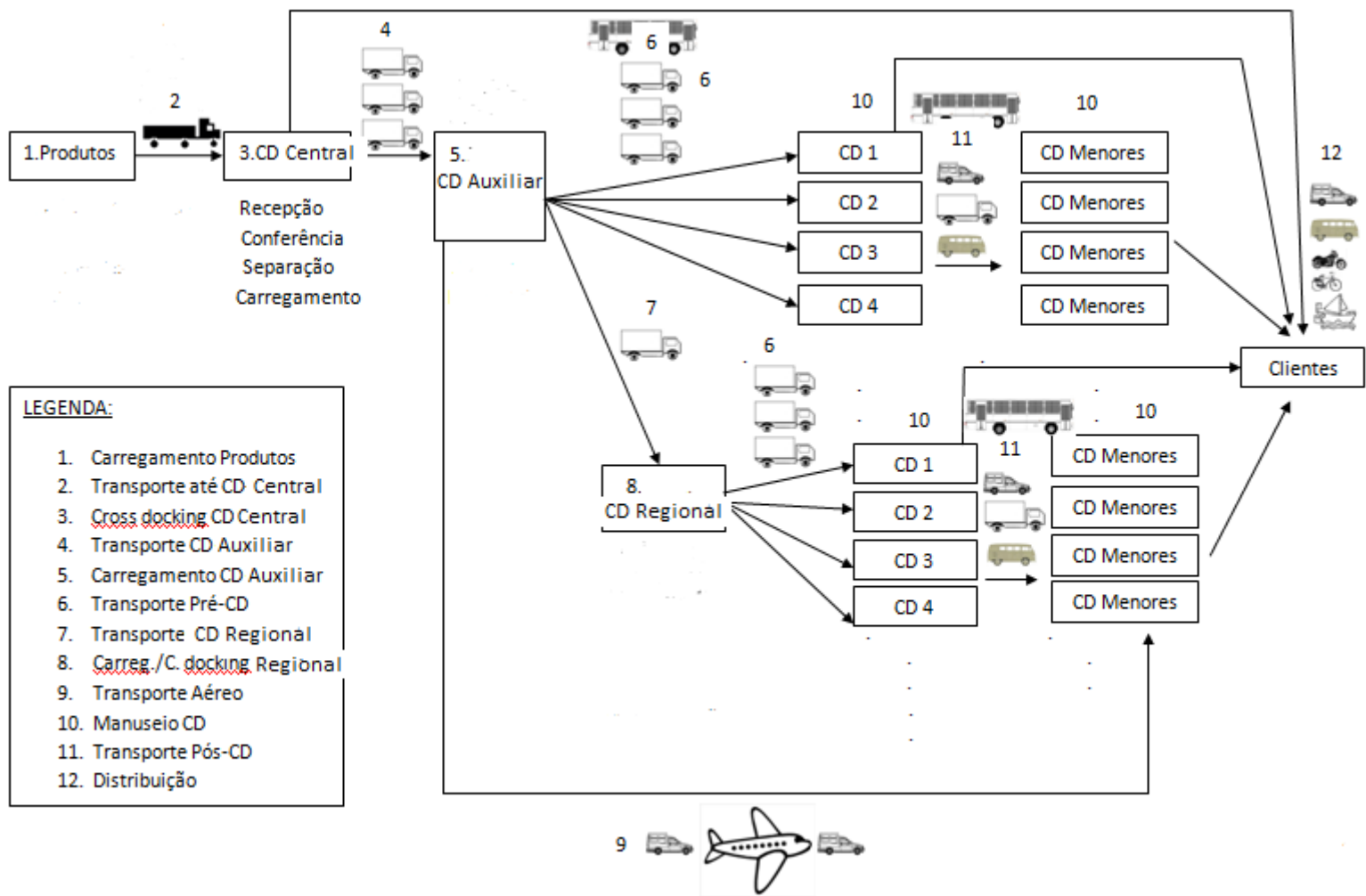


Figura 4: Exemplo de Distribuição Terceirizada de Jornais e E-commerce Brasileira (Fonte: Elaborado pelo Autor).

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 (Figura 5). 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). 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.

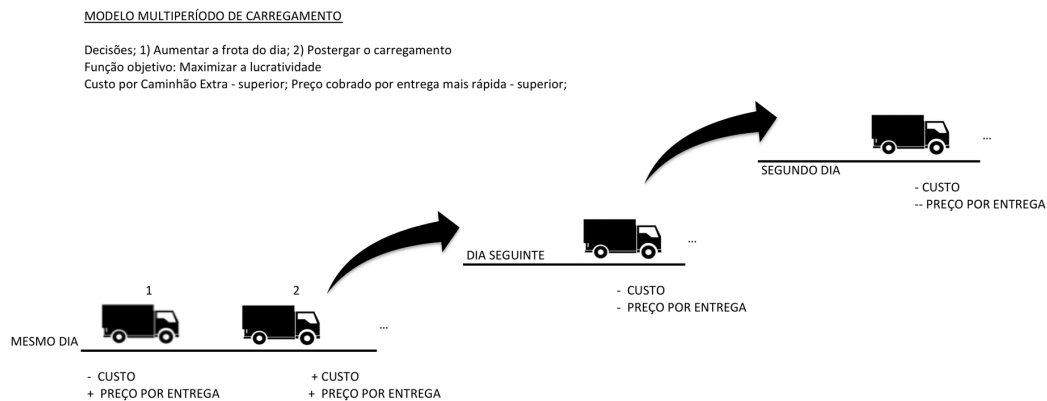


Figura 5: Esquema do modelo multiperíodo (Fonte: Elaborado pelo Autor).

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 2), sendo função objetivo maximizar a lucratividade do Operador Logístico considerando rotas fixas. Exclui-se a questão da roteirização (mudança de rotas). Como trata-se do transporte e distribuição compartilhada de jornais e produtos de e-commerce, este modelo considera separadamente os dois tipos de mercadorias transportadas. A equação quantifica a lucratividade, todos os itens relativos à receita são positivos, enquanto aqueles vinculados aos custos são negativos.

Em relação às restrições do modelo, a primeira é relativa à capacidade dos veículos, a segunda restrição é de frota, a terceira restrição deve-se a demanda de chegada de produtos a quarta restrição limita a não negatividade das variáveis da equação e a quinta restrição determina que as variáveis a serem calculadas são inteiras. 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.

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_{cpihm} : 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_{vrtm} : quantidade de veículos extras do tipo v para cada rota Pré-CD r do transportador terceirizado t utilizados no dia m ;
- 3) Q_{cpir} : quantidade de produtos não transportados p do cliente c que chegaram no dia i na rota pré-CD r .

Maximizar

$$\text{Lucratividade} = \left[\left(\sum_{c=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^z \sum_{r=1}^y V_{cjm} * J_{cjm} \right) + \left(\sum_{c=1}^n \sum_{p=1}^x \sum_{i=1}^s \sum_{h=0}^g \sum_{r=1}^y R_{cpih} * P_{cpihm} \right) \right] - \left(\sum_{v=1}^q \sum_{r=1}^y \sum_{t=1}^u \sum_{m=1}^z K_{vrt} * E_{vrtm} \right) - \left(\sum_{c=1}^n \sum_{p=1}^x \sum_{i=1}^s \sum_{r=1}^y Z_{cpi} * Q_{cpir} \right) \quad (2)$$

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

RESTRICÇÕES:

Rotas Pré-CD:

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

em que:

Variáveis:

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

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

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

Constantes:

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

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

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

T_{vrtm} : 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_{cpi} : 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 $m (i+h) = [1, \dots, z]$.

5. APLICAÇÕES DO MODELO

O processamento dos dados foi realizado no software Matlab® 2014b, 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).

O modelo com trinta dias de postergação apresentou 4200 variáveis, com cinco dias de postergação resultou em 1800 variáveis, com três dias de postergação obteve-se 1392 variáveis, e o modelo sem postergação 720 variáveis. Todos eles possuem 180 restrições. Também foi 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.

5.1. Análise do Efeito do Valor da Multa por Não Transportar

Na Figura 6, pode ser visto o comportamento da lucratividade para uma multa por não transportar de R\$50 comparando com uma multa superior de R\$1000. 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%.

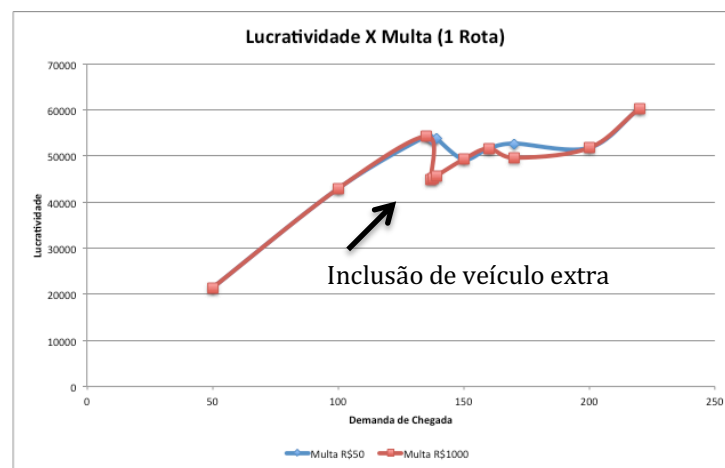


Figura 6: Efeito do Valor de Multa por Não Transportar na Lucratividade.

5.2. 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). Conforme Figura 7, analisou-se o efeito da inclusão de uma unidade adicional de demanda para o preço hipotético típico de entrega (R\$14,30), e para preços de 25%, 50% e 75% superiores ao

valor típico, para duas quantidade 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.

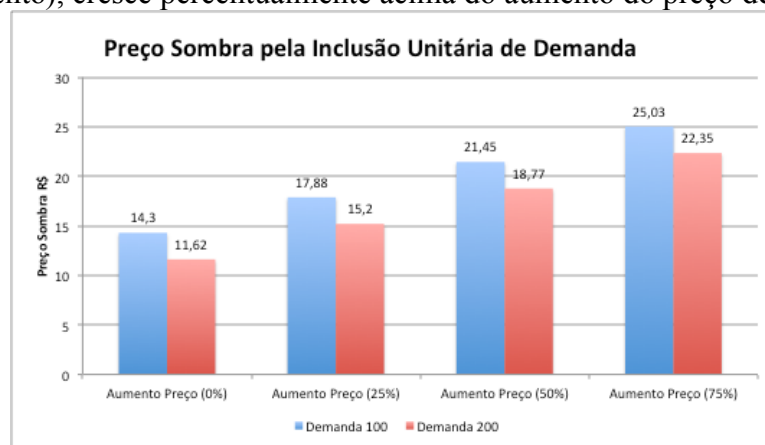


Figura 7: Preço Sombra pela Inclusão de Demanda, variando o Preço de Entrega.

6. CONCLUSÕES

Esta trabalho 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. Detectou-se 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. 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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- 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.
- 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.
- Cascetta, E. (2009) *Transportation Systems Analysis: Models and Applications*. Italy, Springer.
- 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.
- Colin, E. (2013) *Pesquisa Operacional: 170 aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas*. Editora LTC.
- 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.
- Goldbarg, 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.
- 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.
- Karmarkar, U. and Yoo J. (1994) The Stochastic Dynamic Product Cycling Problem. *European Journal of Operational Research* 73, p 360-373.
- Klibi, W., Lasalle, F. and Martel, A. (2010) The Stochastic Multiperiod Location Transportation Problem. *Transportation Science*, Vol. 44, No 2, pp 221-237.
- Lachtermacher, G. (2002) *Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões*. Editora Campus.
- Lachtermacher, G. (2009) *Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões*. 4a Edição. Editora Pearson.
- Luo, S., Çakanyildirim, M. and Kasilingam, R. (2009) Two-dimensional Cargo Overbooking Models. *European Journal of Operational Research* 197, pg. 862-883.
- Oxford Economic Forecasting (2005) *The Impact of the Express Delivery Industry on the Global Economy*. Oxford, UK.
- 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.
- Novaes, A. G. (1989) *Sistemas Logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos*. São Paulo, Editora Edgard Blücher.
- Russell, R., Chiang, W., e Zepeda, D. (2008) Integrating Multi-Product Production and Distribution in Newspaper Logistics. *Computers & Operations Research* 35, pg 1576-1588.
- 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.
- Sousa, F. (2016) *Modelo de Apoio à Decisão para Distribuição Física Compartilhada de Jornais e Produtos de E-commerce*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP/UFRGS.
- 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.
- 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.
- 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>.
- 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.