

O USO DA TÉCNICA DO MENOR CAMINHO EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Álvaro Oliveira da Silva¹, Thalia Alves Leite;

Katia Corrêa; Jaqueline Correa;

Alexandre Formigoni

RESUMO

A Pesquisa Operacional oferece aos gestores a oportunidade de tomar decisões mais eficientes, pois se baseia em métodos determinísticos como a Programação Linear, através de bases científicas e modelos matemáticos. Nos últimos anos tem-se observado uma grande procura pela resolução de problemas de programação linear, em particular aqueles modelados como o de caminho mais curto. Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo a aplicação da técnica do menor caminho em um Centro de Distribuição de uma empresa de materiais de construção na cidade de Guarulhos, a fim de, definir a melhor rota que minimiza as distâncias do Centro de Distribuição aos Clientes. Para isso, foi utilizada a Programação Linear, com o apoio da modelagem matemática para moldar problemas reais. Para tanto, os procedimentos de pesquisa adotados foram o estudo de caso e a pesquisa experimental. O modelo matemático do estudo foi elaborado e esclarecido utilizando o software LINDO 6.1®, assim, através dos resultados obtidos observou-se que a rota ótima comprovada neste estudo por técnicas matemáticas é a mesma utilizada pelo Gerente de Transporte que se baseia em métodos empíricos. A realização do estudo certifica que a pesquisa operacional e a programação linear são metodologias eficientes na solução de problemas como o apresentado.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional; Roteirização; Menor Caminho.

ABSTRACT

Operational Research offers managers the opportunity to make more efficient decisions, as it is based on deterministic methods such as Linear Programming,

¹ Faculdade de Tecnologia de Guarulhos alvaro.xiq@gmail.com

through scientific bases and mathematical models. In recent years, a great demand has been observed for solving linear programming problems, in particular those modeled as the shortest path. In view of this context, the present study has the objective of applying the least path technique in a Distribution Center of a construction materials company in the city of Guarulhos, in order to define the best route that minimizes distances from the Distribution Center to Customers. For this, Linear Programming was used, with the support of mathematical modeling to shape real problems. To do so, the research procedures adopted were the case study and the experimental research. The mathematical model of the study was elaborated and clarified using the software LINDO 6.1®, so, through the obtained results it was observed that the optimal route proven in this study by mathematical techniques is the same one used by the Transport Manager that is based on empirical methods. The accomplishment of the study certifies that the operational research and the linear programming are efficient methodologies in the solution of problems as presented.

Keywords: Operational Research; Scripting; Smallest Path

1. INTRODUÇÃO

O transporte é uma área fundamental de decisões no *mix* logístico. Excetuando os produtos adquiridos, o transporte é dentre as atividades logísticas de acordo com Bowersox e Closs (2007, p. 31), “a que absorve a maior porcentagem dos custos”. Embora as decisões sobre transportes se manifestem automaticamente em uma variedade de formatos, as principais são a seleção do modal, a roteirização, a programação dos veículos e a consolidação dos fretes. Neste trabalho, em particular, será abordado a roteirização dos embarques considerando o tempo em trânsito, rastreabilidade e as considerações relativas aos transportadores.

Os métodos debatidos para o problema de escolha dos serviços de transporte, reconhecem a necessidade de incluir os efeitos indiretos que a opção por determinado meio de transporte exerce sobre os custos de estocagem e sobre a opção pelo integrante do canal logístico que oferece o melhor desempenho em modal de transporte.

Considerando tais premissas, este trabalho tem como **objetivo** estudar

o sistema de distribuição e examinar a possibilidade de ofertar melhorias no sistema de roteirização de um Centro de Distribuição (CD) de uma Empresa de materiais de construção – a qual identificaremos como Empresa Y - localizada no município de Guarulhos/SP que resulte na melhoria de seu processo de transporte.

A escolha por este tema recaiu por dois fatores: o primeiro deles é que Guarulhos é considerada uma cidade muito importante no quesito logístico, principalmente por sua localização estratégica - situada entre as principais rodovias federais (Presidente Dutra - SP/RJ e Fernão Dias - SP/MG), estadual Ayrton Senna (SP-Vale do Paraíba), e ainda com perspectiva de ser atendida brevemente pelos complexos Jacu-Pêssego e Rodoanel - e, por fim, contar em seu território com o Aeroporto Internacional de São Paulo. Em segundo, estes dados, favorecem a empresa, objeto de estudo, quanto ao uso de estratégias para gerenciar seus níveis de estoque e sua forma de distribuição, por conta da facilidade no trajeto feito, em curto prazo e com mais segurança.

A distribuição de produtos está sendo tratada por muitas empresas como uma atividade complexa e essencial que, exige muita destreza e controle nas suas operações logísticas. O transporte é um dos fatores que mais se destaca no meio dessas atividades já que se espera que seu serviço tenha um custo acessível tanto para empresa, quanto para os clientes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pesquisa Operacional

Segundo Lachtermacher (2009, p.11), pesquisa operacional “é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de outras áreas científicas para concepção, planejamento ou operação de sistemas para atingir seu objetivo”.

Foi utilizada pela primeira vez, segundo Andrade (2008, p. 15)

Durante a Segunda Guerra Mundial, quando equipes de pesquisadores procuraram desenvolver métodos para resolver determinados problemas de operações militares. O sucesso dessas aplicações levou o mundo acadêmico e empresarial a procurar utilizar as técnicas então criadas em problemas de administração.

2.1 Roteirização e Menor Caminho

De acordo com Ballou (2010, p. 191) a roteirização é definida como

Um itinerário ou roteiro utilizando algoritmos matemáticos e métodos heurísticos que tem por objetivo a redução do tempo, da distância percorrida e dos custos operacionais logísticos [...] em termos práticos, a roteirização visa otimizar a programação das entregas baseada na quantidade e capacidade dos veículos, na quantidade de pedidos e nos locais de entrega de forma que o custo por entrega seja reduzido ao máximo.

Já o problema de **menor caminho** segundo Ballou (2010) representa um caso especial de problemas de rede, em que os arcos significam a distância entre dois pontos (nós). “Quando desejamos achar a rota que une esses pontos com a menor distancia, entre as possíveis, temos um problema do tipo menor caminho”. Ballou (2010, p.41)

Tais propostas permitem a redução do tempo na programação e realização das entregas; redução da distância global percorrida no itinerário de entregas de todos; melhor dimensionamento da frota para a carga atual; racionalização de uso da mão-de-obra (redução de horas extras e controle da jornada de trabalho dos motoristas – Lei do motorista); economia de combustível e demais custos variáveis (pneu, óleo, etc); controle amplo do processo inteiro de carga e descarga.

3. MÉTODO

O método aplicado neste estudo foi na forma de estudo de caso através de dados coletados junto ao Gerente de Transporte do Centro de Distribuição (CD) da Empresa Y de materiais de construção e das possíveis rotas utilizadas para fazer as entregas. Foi utilizado o software LINDO 6.1® na resolução dos modelos. Quanto a solução de um problema de programação linear, esta ocorre através da solução de equações lineares e do cálculo de uma função - denominada função objetivo - que irá maximizar ou minimizar a utilização de determinado recurso, sendo que o software fornece, além da solução ótima, relatórios que permitem uma análise detalhada das restrições e condições de fornecimento.

Os dados foram coletados no período de março/2018 a maio/2018, com a utilização um romaneio de viagem (Figura 1) do dia 03 de maio de 2018 - total de 10 entregas - nas praças Guarulhos 01 e Guarulhos 02, seguindo a ordem

de entrega (Figura 2) com o itinerário atual.

Figura 1 – Romaneio de viagem

Fonte: Empresa Y (2018).

Figura 2 – Ordem de Entrega – Itinerário Atual

	ORIGEM CD	R. Orlanda Bérghamo, 250	Cidade Industrial Satélite de São Paulo	GUARULHO S	
		DESTINO			
ENTREGA	CLIENTE	LOCALIDADE	BAIRRO	DISTÂNCIA/ KM	TEMPO/MI N
S	S				
1	A	RUA AMADOR BUENO, 220	JD MUNHOZ	15	23
2	B	RUA MARIA ELIZABETH, 254	VILA SANTA MARIA	11	21
3	C	RUA GERALDO AUGUSTO DA SILVA, 559	PQ CONTINENTAL I	5,3	15
4	D	RUA CENTO E DEZ, 123	PQ CONTINENTAL	2,8	9
5	E	AV GUARULHOS, 2845 TR 13	VILA AUGUSTA	14	20

6	F	RUA CABO JOÃO TERUEL FREGONI, 453	PONTE GRANDE	2	7
7	G	RUA GERALDO AUGUSTO DA SILVA, 616	PQ CONTINENTAL I	10	14
8	H	ESTRADA AGUA CHATA, 2315	AGUA CHATA	31	30
9	I	RUA PLANALTINO, 959	JD PRESIDENTE DUTRA	5,9	16
10	J	RUA DENIZ BRIAN, 137	VILA SÃO RAFAEL	20	25
			TOTAL	117 km	180 min

Fonte: Empresa Y (2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As informações empregadas para justificar este estudo, foram coletadas junto ao Gerente de Transporte do Centro de Distribuição (CD) da Empresa Y de materiais de construção localizado na cidade de Guarulhos. Ele é o responsável por criar o itinerário a ser executado nas entregas feitas pelas transportadoras prestadoras de serviço - terceirizadas.

Com base nos dados pertinentes às distâncias entre os endereços de seus clientes e o tempo que se leva para chegar de um ponto a outro, o objetivo foi encontrar a melhor rota a ser executada de maneira que minimizasse o custo do frete e o tempo gasto nas entregas (Figura 3).

Figura 3 – Ordem de Entrega – Cliente de Guarulhos/SP

CLIENTES	LOCALIDADE	BAIRRO	CEP	CIDADE	U F
A	RUA AMADOR BUENO, 220	JD MUNHOZ	07042-230	GUARULHOS	S P
B	RUA MARIA ELIZABETH, 254	VILA SANTA MARIA	07121-250	GUARULHOS	S P
C	RUA GERALDO AUGUSTO DA SILVA, 559	PQ CONTINENTAL I	07077-065	GUARULHOS	S P
D	RUA CENTO E DEZ, 123	PQ CONTINENTAL	07085-360	GUARULHOS	S P
E	AV GUARULHOS, 2845 TR 13	VILA AUGUSTA	07025-000	GUARULHOS	S P
F	RUA CABO JOÃO TERUEL FREGONI, 453	PONTE GRANDE	07032-000	GUARULHOS	S P
G	RUA GERALDO AUGUSTO DA SILVA, 616	PQ CONTINENTAL I	07077-065	GUARULHOS	S P
H	ESTRADA AGUA CHATA, 2315	AGUA CHATA	07251-000	GUARULHOS	S P
I	RUA PLANALTINO, 959	JD PRESIDENTE DUTRA	07172-050	GUARULHOS	S P
J	RUA DENIZ BRIAN, 137	VILA SÃO RAFAEL	07053-090	GUARULHOS	S P

Fonte: Empresa Y (2018).

Para os cálculos foram utilizadas duas tabelas matriz de origem/destino (Figuras 4 e 5), onde a primeira tabela é constituída com a distância em quilômetro (KM) que o motorista irá percorrer do Centro de Distribuição (CD) até os clientes e de um cliente a outro, e a outra tabela é relativa ao tempo

gasto para percorrer as respectivas distâncias (tempo em minutos).

Figura 4 – Distância em KM (Centro de Distribuição até Cliente)

ORIGEM/DESTI NO	DISTÂNCIA EM KM									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	x	9,5	24	26	14	12	24	15	12	16
B	x	x	10	13	3,5	5,3	10	24	25	4,9
C	x	x	x	6,6	7,5	11	5,3	18	12	11
D	x	x	x	x	12	12	0,2	29	31	10
E	x	x	x	x	x	14	2,9	31	34	12
F	x	x	x	x	x	x	12	19	21	3,1
G	x	x	x	x	x	x	x	20	22	4,5
H	x	x	x	x	x	x	x	x	31	10
I	x	x	x	x	x	x	x	x	x	23
J	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: Os autores (2018)

Figura 5 – Tempo em minutos

ORIGEM/DESTI NO	TEMPO EM MINUTOS									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	x	25	27	30	23	15	28	21	34	21
B	x	x	16	19	12	12	17	25	33	11
C	x	x	x	18	18	19	15	27	30	17
D	x	x	x	x	16	17	1	31	35	16
E	x	x	x	x	x	21	9	35	39	19
F	x	x	x	x	x	x	16	23	27	10
G	x	x	x	x	x	x	x	23	28	9
H	x	x	x	x	x	x	x	x	36	15
I	x	x	x	x	x	x	x	x	x	25
J	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: Os autores (2018).

Para a resolução dos problemas corriqueiros foram inseridas fórmulas matemáticas baseadas em pesquisa operacional, que se dividem em: função objetivo, variáveis de decisão e restrições. As variáveis de decisão colocadas no problema serão representadas pela letra "X", para definir os pontos de entrega - valor este, a princípio desconhecido, simbolizado pela incógnita e que pode variar entre 0 ou 1. Quando o valor for 0, diz-se que o caminho não foi o escolhido e, quando for 1, este caminho foi escolhido como solução ótima.

As restrições foram definidas com o modelo que não se pode sair de uma origem e seguir para dois destinos e de duas origens para o destino.

Função objetiva da menor distância a ser percorrida para fazer todas as entregas:

$$\text{F.O. MIN. } Z = 9.5X_{AB} + 24X_{AC} + 26X_{AD} + 14X_{AE} + 12X_{AF} + 24X_{AG} + 15X_{AH} + 12X_{AI} + 16X_{AJ} + 10X_{BC} + 13X_{BD} + 3.5X_{BE} + 5.3X_{BF} + 10X_{BG} + 24X_{BH} + 25X_{BI} + 4.0X_{BJ} + 6.6X_{CD} + 7.5X_{CE} + 11X_{CF} + 5.3X_{CG} + 18X_{CH} + 12X_{CI} + 11X_{CJ} + 12X_{DE} + 12X_{DF} + 0.2X_{DG} + 26X_{DH} + 31X_{DI} + 10X_{DJ} + 14X_{EF} + 2.9X_{EG} + 31X_{EH} + 34X_{EI} + 12X_{EJ} + 12X_{FG} + 19X_{FH} + 21X_{FI} + 3.1X_{FJ} + 20X_{GH} + 22X_{GI} + 4.5X_{GJ} + 31X_{HI} + 10X_{HJ} + 23X_{IJ}$$

Aplicando a função no software, obteve-se os seguintes resultados (Figura 6).

Figura 6 – Função no Software LINDO 6.1®

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP      16

      OBJECTIVE FUNCTION VALUE

    1)      138.1000

      VARIABLE           VALUE           REDUCED COST
      XAB              1.000000           0.000000
      XAC              0.000000           5.500000
      XAD              0.000000          14.900000
      XAE              0.000000           2.000000
      XAF              0.000000           0.000000
      XAG              0.000000          23.799999
      XAH              0.000000          15.000000
      XAI              0.000000          10.000000
      XAJ              0.000000          35.000000
      XBC              1.000000           0.000000
      XBD              0.000000          10.400000
      XBE              0.000000           0.000000
      XBF              0.000000           1.800000
      XBG              0.000000          18.299999
      XBH              0.000000          32.500000
      XBI              0.000000          31.500000
      XBJ              0.000000          32.400002
      XCD              1.000000           0.000000
      XCE              0.000000           0.000000
      XCF              0.000000           3.500000
      XCG              0.000000           9.600000
      XCH              0.000000          22.500000
      XCI              0.000000          14.500000
      XCJ              0.000000          34.500000
      XDE              1.000000           0.000000
      XDF              0.000000           0.000000
      XDG              0.000000           0.000000
      XDH              0.000000          29.000000
      XDI              0.000000          29.000000
      XDJ              0.000000          29.000000
      XEF              1.000000           0.000000
      XEG              0.000000           0.700000
      XEH              0.000000          29.000000
      XEI              0.000000          30.000000
      XEJ              0.000000          29.000000
      XFG              1.000000           0.000000
      XFH              0.000000           7.200000
      XFI              0.000000           7.200000
      XFJ              0.000000          10.300000
      XGH              1.000000           0.000000
      XGI              0.000000           0.000000
      XGJ              0.000000           3.500000
      XHI              1.000000           0.000000
      XHJ              0.000000           0.000000
      XIJ              1.000000           0.000000
      XAH              0.000000           0.000000
  
```

Fonte: Os autores (2018)

A solução ótima encontrada a fim que se percorra a menor distância durante a operação é a mesma desenvolvida pelo gerente de transporte da empresa citada que está identificada no itinerário atual. Identificamos que não houve nenhuma redução na distância, após várias tentativas de minimizar a distância e obter outro resultado que poderia reduzir os custos de transporte.

$$\begin{aligned}
 \text{F.O. MIN. Z} = & 25\text{XAB} + 27\text{XAC} + 30\text{XAD} + 23\text{XAE} + 15\text{XAF} + 28\text{XAG} + 21\text{XAH} + 3 \\
 & 4\text{XAI} + 21\text{XAJ} + 16\text{XBC} + 19\text{XBD} + 12\text{XBE} + 12\text{XBF} + 17\text{XBG} + 25\text{XBH} + 33\text{XBI} + 11\text{XB} \\
 & \text{J} + 18\text{XCD} + 18\text{XCE} + 19\text{XCF} + 15\text{XCG} + 27\text{XCH} + 30\text{XCI} + 17\text{XCJ} + 16\text{XDE} + 17\text{XDF} + 1 \\
 & \text{XDG} + 31\text{XDH} + 35\text{XDI} + 16\text{XDJ} + 21\text{XEF} + 9\text{XEG} + 35\text{XEH} + 39\text{XEI} + 19\text{XEJ} + 16\text{XFG} + 2 \\
 & 3\text{XFH} + 27\text{XFI} + 10\text{XFJ} + 23\text{XGH} + 28\text{XGI} + 9\text{XGJ} + 36\text{XHI} + 15\text{XHJ} + 25\text{XIJ}
 \end{aligned}$$

Da mesma forma, aplicando a função de tempo no software obteve-se o seguinte relatório (Figura 7).

Figura 7 – Função no Software LINDO 6.1 ®

```

|
| LP OPTIMUM FOUND AT STEP      12
|
| OBJECTIVE FUNCTION VALUE
|
| 1)      196.0000
|
| VARIABLE      VALUE      REDUCED COST
| XAB      1.000000      0.000000
| XAC      0.000000      7.000000
| XAD      0.000000     12.000000
| XAE      0.000000      7.000000
| XAF      0.000000      0.000000
| XAG      0.000000     27.000000
| XAH      0.000000     14.000000
| XAI      0.000000     22.000000
| XAJ      0.000000     30.000000
| XBC      1.000000      0.000000
| XBD      0.000000      5.000000
| XBE      0.000000      0.000000
| XBF      0.000000      1.000000
| XBG      0.000000     20.000000
| XBH      0.000000     22.000000
| XBI      0.000000     25.000000
| XBJ      0.000000     24.000000
| XCD      1.000000      0.000000
| XCE      0.000000      2.000000
| XCF      0.000000      4.000000
| XCG      0.000000     14.000000
| XCH      0.000000     20.000000
| XCI      0.000000     18.000000
| XCJ      0.000000     26.000000
| XDE      1.000000      0.000000
| XDF      0.000000      2.000000
| XDG      0.000000      0.000000
| XDH      0.000000     24.000000
| XDI      0.000000     23.000000
| XDJ      0.000000     25.000000
| XEF      1.000000      0.000000
| XEG      0.000000      2.000000
| XEH      0.000000     22.000000
| XEI      0.000000     21.000000
| XEJ      0.000000     22.000000
| XFG      1.000000      0.000000
| XFH      0.000000      1.000000
| XFI      0.000000      0.000000
| XFJ      0.000000      4.000000
| XGH      1.000000      0.000000
| XGI      0.000000      0.000000
| XGJ      0.000000      2.000000
| XHI      1.000000      0.000000
| XHJ      0.000000      0.000000
| XIJ      1.000000      0.000000
  
```

Fonte: Os autores (2018)

A partir da verificação acima , foi possível constatar que: a solução ótima para o menor tempo possível de operação encontrada - para que se percorra a menor distância durante a operação - é a mesma desenvolvida pelo gerente de transporte da empresa citada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atestou a aplicação da técnica de pesquisa operacional de menor caminho em otimização de rotas com o uso da programação linear e o funcionamento do software LINDO 6.1®. Com estas informações foi possível obter dados claros e objetivos, por exemplo, como o motorista da loja estabelece suas rotas, em um dia de coleta (03 de maio de

2018, conforme figura 1 – Romaneio de viagem).

Com a aplicação da técnica de pesquisa operacional e programação linear, os dados foram modelados de acordo com a técnica do problema de menor caminho juntamente com o software LINDO 6.1®, que encontrou a solução ótima para a problemática apresentada. Após a solução encontrada, verificamos que a rota ótima para este caso é a mesma utilizada pelo motorista e, que esta técnica por ser validada em questões matemáticas, comprova que esse trajeto é o melhor para realização deste serviço de coleta e entrega do Centro de Distribuição.

Por fim, baseado nos relatórios gerados pelo LINDO 6.1®, a rota escolhida em função da distância, coincide com a baseada nos tempos. E, em função da distância e do tempo, o trajeto desenvolvido pelo gerente de transporte é relativamente a melhor alternativa em comparação com o software LINDO 6.1 ®.

6.REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC. 2008.
BOWERSOX, Donald J., CLOSS, David J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Atlas, 2007.

Lachtermarcher, Gerson. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

Novaes, Antônio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007

SIQUEIRA, A. C. A. Utilização da programação linear e da teoria das restrições como ferramenta de apoio à tomada de decisões. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/251565840_Utilizacao_da_Programacao_Linear_Associada_a_Teoria_das_Restricoes_na_Tomada_de_Decisao_na_Producao_de_uma_Industria_de_Fertilizantes_Use_of_Linear_Programming_with_the_Theory_of_Constraints_in_Decisi . Acesso em: 30. Maio 2018.

XAVIER, P. M. A programação linear e a teoria das restrições. São Paulo:
FEA USP. Disponível em: <http://www.cemeai.icmc.usp.br/pessoal/otimizacao-e-pesquisa-operacional> . Acesso em: 30. Maio. 2018.