

Estudo de Roteirização de Veículos com Aplicação da Técnica de Varredura para Cargas Fracionadas

Daniel Barzan de Mattos Amaral
danielbarzan@gmail.com
UNISANTOS

Anderson Willian de Souza
andersonwillian7@gmail.com
UNISANTOS

Ricardo Kenji Oi
prof_oi@ymail.com
UNISANTOS

João Batista Carneiro
jbcarneiro@unisantos.br
UNISANTOS

Renato Márcios dos Santos
renato10online@yahoo.com.br
UNISANTOS

Resumo: O presente trabalho desenvolveu uma proposta de roteirização para uma nova malha com quinze rotas para o abastecimento dos vinte e oito centros de distribuição de uma empresa grande porte de transporte e distribuição de mercadorias, situada na cidade de São Paulo, por meio da aplicação da técnica de varredura com o auxílio do software ArcGIS®, comparando-a com o atual modelo, sob o aspecto do percursos das rotas. A empresa tratada neste estudo não possui uma metodologia para o planejamento da frota, sendo esta atividade executada de forma totalmente empírica, baseada única e exclusivamente no conhecimento técnico dos operadores de programação, o que acarreta elevados custos devido à ineficiência das rotas traçadas, com veículos transportando volumes ociosos. O modelo proposto nesta pesquisa obteve significativos ganhos em comparação a situação atual da empresa estudada. Os ganhos, considerando a totalidade das rotas, se revelaram no percurso e no número de veículos, cujas reduções foram, respectivamente, de 18,3% e 69,8%, o que comprovou a viabilidade da aplicação da técnica de varredura com o auxílio do software ArcGIS®.

Palavras Chave: logística - cargas fracionadas - roteirização - varredura - ArcGIS

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento *e-commerce* nos últimos anos tem revelado a importância da logística de cargas fracionadas nas relações comerciais, pois a agilidade e a confiabilidade na entrega de produtos constituem fatores de decisão no momento da aquisição pelos consumidores.

Ao transportar uma encomenda decorrente de uma transação comercial, a empresa de transportes está realizando uma das últimas etapas da venda, ou seja, uma extensão do atendimento do vendedor que implicará na satisfação do comprador em relação ao fornecedor, mesmo a que a transportadora seja um prestador de serviços.

Neste contexto, a logística de cargas fracionadas vem sendo considerada como um fator de ganho de competitividade para as empresas, em que diversos estudos vêm sendo desenvolvidos, principalmente no emprego de novas tecnologias, na eficiência operacional e na readequação dos custos. Cabe destacar que os custos com transporte chegam a 60% dos custos logísticos, o que obriga as organizações, cada vez mais, adotarem ferramentas de planejamento e programação de frota.

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver uma ferramenta de roteirização de frota por meio da aplicação da técnica de varredura com o auxílio do *software* ArcGIS®. O estudo foi desenvolvido a partir de uma malha de quinze rotas para o abastecimento dos vinte e oito centros de distribuição de uma empresa grande porte de transporte e distribuição de cargas fracionadas, situada na cidade de São Paulo. O modelo proposto nessa pesquisa foi comparado com o atual modelo da empresa sob o aspecto do percurso das rotas.

A empresa tratada neste estudo não possui uma metodologia para o planejamento da frota, sendo esta atividade executada de forma totalmente empírica, baseada única e exclusivamente no conhecimento técnico dos operadores de programação, o que acarreta elevados custos e tempo de operação devido à ineficiência das rotas traçadas, com veículos transportando volumes ociosos, o que justifica o desenvolvimento desta pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A distribuição física é entendida como processos operacionais e de controle que permitem transferir os produtos desde o ponto de fabricação, até o ponto em que a mercadoria é finalmente entregue ao consumidor final. O objetivo geral da distribuição física é levar os produtos certos, para os lugares certos, no momento certo e com o nível de serviço desejado, pelo menor custo possível (NOVAES, 2007).

A distribuição de produtos é uma das principais atividades das organizações, pois define o sucesso no processo da transação comercial, nos aspectos de rapidez e confiabilidade das entregas, que são fatores de decisão da escolha da empresa pelos consumidores no momento da aquisição de produtos, sobretudo no *e-commerce*. É a distribuição física que efetua o vínculo entre a empresa e seus clientes (BOWERSOX; CLOSS, 2001).

A conjuntura global fez com que as organizações reformulassem a sua área de distribuição, passando a adotar sistemas de logística e operações numa abordagem global, o que por sua vez exigiu do mercado de transporte uma melhoria contínua para que esta demanda crescente pudesse ser atendida (ENOMOTO, 2005).

Na distribuição física, através do modal rodoviário são utilizadas duas formas de transporte, a lotação completa utilizando-se de um carregamento completo com certo lote de remessa e a carga fracionada, que se caracteriza por compartilhar a capacidade do veículo com a carga de dois ou mais embarcadores (NOVAES, 2007).

As cargas fracionadas permitem entregas mais frequentes e a pulverização dos pontos de destino, permitindo que os lotes de despacho sejam muitas vezes de proporções reduzidas. A carga fracionada pode ser formada por diversas etapas como o recolhimento do lote a ser transportado no depósito do cliente, o transporte do lote até o centro de distribuição, o tratamento da encomenda com descarregamento, a verificação, a rotulagem e triagem da mercadoria segundo os diversos destinos, a transferência da mercadoria até a cidade de destino e por fim a distribuição local com entrega da encomenda ao cliente final (NOVAES, 2007).

Para que todo este processo seja concluído de forma efetiva, a fim de atender o cliente de maneira rápida, consistente e com baixos custos, são necessários o direcionamento e a escolha do melhor roteiro possível. Objetivando a otimização dos roteiros, é necessário que o sistema tenha sido bem planejado e bem dimensionado nos níveis estratégicos e táticos, e devem ser definidas questões como, por exemplo, a composição da frota e o zoneamento (GALVÃO, 2003).

A roteirização é o processo para a determinação de um ou mais roteiros ou sequência de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, tendo por objetivo utilizar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais predeterminados, que necessitam de atendimento. A roteirização pode ser caracterizada por n clientes (representados numa rede de transportes por nós ou arcos) que deverão ser servidos por uma frota de veículos, sem apresentarem restrições ou a ordem em que deverão ser atendidos (CUNHA, 2000).

Os fatores de roteirização podem ser descritos como a decisão que se refere ao grupo de clientes a serem visitados e posteriormente o cronograma de sequenciamento das visitas e a restrição, onde é necessário completar as rotas com os recursos disponíveis (NOVAES, 2007).

As principais características dos problemas de roteirização e programação são: tamanho da frota disponível; tipo de frota; garagem dos veículos; natureza da demanda; localização da demanda; características da rede; restrições de capacidade dos veículos; requisitos de pessoal; tempos máximos de rotas; operações envolvidas; custos; objetivos; e outras restrições (ENOMOTO; LIMA, 2007).

No problema de roteirização de veículos tradicional, o horizonte de tempo é de curto prazo, normalmente de um único dia. O objetivo é determinar rotas de veículos que minimizem os custos de transporte, de modo que as demandas de todos os clientes sejam atendidas, e as restrições de capacidade dos veículos sejam respeitadas (BELFIORE et al., 2006).

Ballou (2006) estabeleceu oito princípios para que a roteirização e a programação de veículos sejam eficientes. Esses princípios abrangem questões como a combinação de paradas em dias diferentes, roteiros iniciados a partir da parada mais distante, combinação da rota de coleta com a de entrega, entre outras, que são apresentados a seguir:

- a) Carregar caminhões com volumes destinados a paradas que estejam mais próximas entre si;
- b) Paradas em dias diferentes devem ser combinadas para produzir agrupamentos concentrados;
- c) Iniciar os roteiros a partir da parada mais distante do centro de distribuição;
- d) Realizar o sequenciamento das paradas num roteiro que deve ter a forma de lágrima;
- e) Os roteiros mais eficientes são aqueles que fazem uso dos maiores veículos disponíveis;

- f) A coleta deve ser combinada nas rotas de entrega, em vez de reservada para o final dos roteiros;
- g) Uma parada removível de um agrupamento de rota é uma boa candidata a um meio alternativo de entrega;
- h) As pequenas janelas de tempo de paradas devem ser evitadas.

A pesquisa por métodos de soluções de rotas e de programação de veículos está em expansão e apresenta importância significativa para as empresas que necessitam consolidar cargas para entregar ou coletar, minimizando assim os custos e otimizando o tempo. Contudo, cada método ou técnica aplicada apresentam suas limitações, devendo o profissional escolher o método que se enquadra ao seu problema.

Desta forma, as principais técnicas e métodos encontrados na literatura são métodos heurísticos, problema do caixeiro viajante, método de varredura e método de Clarke e Wright. O método de varredura, também conhecido como *Sweep Algorithm*, é considerado um método heurístico onde se procura obter a solução dos problemas em duas etapas distintas: a primeira visa agrupar os pontos de demanda segundo algum critério de proximidade; enquanto na segunda etapa, cada grupo é solucionado independentemente (NOVAES, 2007).

O método de varredura é recomendável pela facilidade de resolução dos problemas de maneira rápida e eficaz, e apresenta uma margem de erro de 10%, sendo esse aceitável quando se pretende estabelecer uma solução ótima absoluta (BALLOU, 2006).

Essa técnica apresenta uma sequência lógica para sua aplicação, podendo associar com *software* para a roteirização e cálculo do menor percurso, permitindo assim melhor precisão e qualidade dos dados obtidos.

Os *softwares* de roteirização são sistemas computacionais que utilizam algoritmos e base de dados que apresentam soluções para os problemas de roteirização e programação de veículos, e são mais eficientes do que os métodos manuais (MELO; FILHO, 2001).

Atualmente existem no mercado diversos *softwares* de roteirização, que consideram um grande número de restrições ou condicionantes, que tornam possível a obtenção de modelos bastante precisos. Além disso, são dotados de muitos recursos de visualização gráfica e de relatórios que auxiliam o usuário na tomada de decisão (NOVAES, 2007).

Existem *softwares* que possuem interfaces com mapas digitais georeferenciados ou Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para representar os pontos de atendimento e a malha viária por onde trafegam os veículos. Um SIG possibilita a localização automática de clientes e endereços. A distância e o tempo de viagem são obtidos através do processamento prévio de algoritmo de caminhos mínimos, aplicado à malha viária da região de interesse (CUNHA, 2000).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A empresa abordada neste trabalho é uma organização de grande porte com atuação nacional no transporte e distribuição de cargas fracionadas. O estudo foi desenvolvido a partir dos dados de um dos terminais de carga dessa empresa na cidade de São Paulo, que distribui as mercadorias para vinte e oito centros de distribuição (CD), que são responsáveis pela entrega das mercadorias ao destino final. Foram estudadas quinze rotas do referido CD.

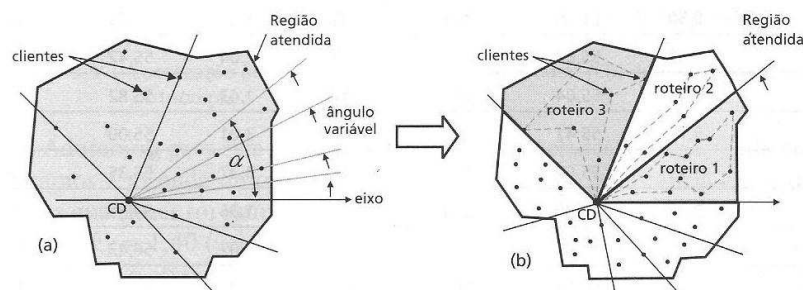
Nesta pesquisa foi aplicada a técnica de varredura, apresentada na Figura 1, agregada ao *software* ArcGIS®, que elabora e manipula informações vetoriais e matriciais para o gerenciamento de mapas temáticos.

O ArcGIS® disponibiliza um ambiente de sistema de informação geográfica (SIG), que agrega uma gama de ferramentas de forma integrada e de simples manuseio (SANTOS, 2013).

No método de varredura foram aplicados os princípios de Ballou (2006), resultando no seguinte procedimento:

- Adotou-se o terminal de carga como centro, traçando um eixo passando por ele;
- Girou-se o eixo em torno do o terminal de carga no sentido anti-horário, até que a linha incluiu um centro de distribuição;
- Testou-se centro de distribuição em potencial, verificando se este poderia ser incluído no roteiro em formação. Para isso foram verificadas as seguintes questões: A parada incluída no roteiro poderá ultrapassar a capacidade do veículo? Se a resposta apresentar-se negativa, continuamos com a rotação da linha até a intersecção da próxima parada. Continuando os questionamentos respondemos então: o volume cumulativo ultrapassará a capacidade do veículo? Se verificadas que ambas as restrições não foram violadas, o novo cliente poderá ser incorporado ao roteiro respeitando o tempo de chegada, e o processo (etapas b e c) continuam;
- Se verificado que o novo centro de distribuição não pode ser incluído no roteiro em formação, é sinal que as possibilidades deste roteiro se esgotaram. Neste caso, fechamos o roteiro e iniciamos um novo. O processo termina quando todos os clientes foram incluídos no roteiro. (Figura 1b);
- Para cada roteiro, aplicamos um método de melhoria, de forma a minimizar os percursos.

Figura 1: Método de varredura.



Fonte: Novaes (2007).

Terminada a aplicação da técnica de varredura foi utilizado o *software* ArcGIS®, com o objetivo de roteirizar e reduzir os percursos, instituindo a melhor rota possível com a menor distância e tempo, assim suprimindo a necessidade do cliente final.

A metodologia adotada neste estudo teve como propósito solucionar o problema de roteirização por meio da aplicação do conhecimento geográfico, associada à análise de diversas rotas independentes, realizando a combinação de informações através de um conjunto de operações, visando à redução dos percursos das rotas que compõe a malha.

Finalizada a etapa de roteirização, a análise dos percursos foi realizada com o subsídio das oito diretrizes de Ballou (2006), auxiliado pelo Microsoft Excel®; sendo este utilizado para ordenar as distâncias, através das alterações nos roteiros gerados; assim como, analisar se a melhoria implementada otimiza o modelo de roteirização.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados das quinze rotas da nova malha de roteirização de veículos proposta pelo estudo, que envolve o terminal de carga (TC) e que atendem os vinte e oito centros de distribuição (CDs), a partir da aplicação do método de varredura juntamente com o auxílio do *software* ArcGIS® e orientado pelas as diretrizes de Ballou (2006).

Cabe ressaltar que a pesquisa considerou que toda carga em volume foi encaminhada ao seu destino (CD). A Tabela 1 apresenta os resultados, que relacionam as quinze rotas, comparando o modelo atual e o novo (proposto), relativos a um dia de operação.

Tabela 1: Estudo comparativo entre o modelo atual e o proposto

Rota	CD	Veículo (ton)	Veículo (unidade)	Percurso (km)				
				parcial	total	Δ (%)		
A	atual	1	3	2	20	32	-37,50	
		1	1		12			
	nova	1	3	1	20			20
B	atual	2	1,5	2	9	29	-31,03	
		2	1,5		20			
	nova	2	3	1	20			20
C	atual	3	3	2	3	37	-8,11	
		3	1,5		34			
	nova	3	1,5	1	34			34
D	atual	4	1,5	4	19	57	-22,81	
		4	8		19			
		5	1,5		10			
		5	1,5		9			
	nova	4	3	1	44			44
		5						
E	atual	6	1	3	23	112	-48,21	
		6	1,5		29			
		6	1,5		60			
	nova	6	3	1	58			58
F	atual	7	1,5	2	35	105	+33,33	
		7	1,5		70			
	nova	7	3	2	70			140
		7	1,5		70			
G	atual	8	1,5	4	25	71	-28,17	
		8	1		25			
		9	1,5		1			
		9	3		20			
	nova	8	3	1	51			51
		9						

Tabela 1: Estudo comparativo entre o modelo atual e o proposto (continuação)

Rota		CD	Veículo (ton)	Veículos (unidade)	Percurso (km)		
					parcial	total	Δ (%)
H	atual	10	3	8	10	53	-64,15
		10	1,5		12		
		11	1,5		6		
		11	1,5		6		
		11	1		6		
		11	1,5		9		
		12	0,6		2		
		12	0,6		2		
	nova	10	3	1	19	19	
		11					
12							
I	atual	13	1	4	13	78	-35,90
		13	14		19		
		14	1,5		23		
		14	1		23		
	nova	13	14	1	50	50	
		14					
J	atual	15	1	5	14	49	-30,61
		16	1,5		11		
		17	1		12		
		18	3		8		
		18	1,5		4		
	nova	15	1,5	1	34	34	
		16					
		17					
18							
K	atual	19	3	7	22	79	-67,09
		19	1,5		7		
		19	1,5		9		
		20	1,5		9		
		20	1		9		
		20	1		9		
		21	3		14		
	nova	19	8	1	26	26	
		20					
		21					

Tabela 1: Estudo comparativo entre o modelo atual e o proposto (continuação)

Rota		CD	Veículo (ton)	Veículos (unidade)	Percurso (km)		
					parcial	total	Δ (%)
L	atual	22	1,5	1	53	53	+100,00
	nova	22	3	1	106	106	
M	atual	23	1,5	1	33	33	+100,00
	nova	23	3	1	66	66	
N	atual	24	1	4	16	62	-14,52
		25	1,5		25		
		26	1,5		7		
		26	3		14		
	nova	24	1,5	1	53	53	
		25					
26							
O	atual	27	1	4	20	94	-46,81
		27	1,5		19		
		28	1,5		25		
		28	1,5		30		
	nova	27	1,5	1	50	50	
		28					

Fonte: autores

A Tabela 2 apresenta o resumo comparativo entre o modelo atual e o novo modelo proposto, tendo como parâmetros o percurso e o número de veículos. Os valores correspondem a um dia de operação.

Tabela 2: Resumo comparativo entre o modelo atual e o proposto

	Modelo atual	Modelo novo	Variação
Percurso (km)	944	771	-18,3%
Número de veículos	53	16	-69,8%

Fonte: autores

O modelo proposto nesta pesquisa obteve significativos ganhos em comparação a situação atual da empresa estudada, cuja metodologia é baseada apenas no conhecimento técnico dos operadores de programação, ou seja, totalmente empírica.

Na Tabela 2 podemos observar que os ganhos, considerando a totalidade das rotas, se revelam no percurso e no número de veículos, cujas reduções foram, respectivamente, 18,3% e 69,8%.

Das quinze rotas estudadas, doze apresentaram redução de percurso, conforme revela a Tabela 1. Na redução do percurso os ganhos mais significativos foram nas rotas K, H e E, que alcançaram reduções, respectivamente de, 67,09%, 64,15% e 48,21%. Por outro lado, as rotas L e M apresentaram aumento de 100%, seguida da rota F com 33,33%.

A redução dos percursos se deve ao fato de que em doze das quinze novas rotas propostas foram utilizados apenas um veículo, ou seja, uma quantidade inferior à atual praticada, o que não ocorre nas rotas atuais, exceto nas rotas L, M e F. Nessas três rotas no modelo proposto, além da quantidade permanecer o mesmo, os veículos utilizados para o transporte da carga seriam exclusivos do terminal de cargas e realizaria o percurso de ida e volta, ao contrário do atual modelo, o que resultou, no caso das rotas L e M, na duplicação dos percursos em questão. Já para a rota F, o modelo atual utiliza-se de dois veículos, dos quais apenas um retorna para o terminal de cargas, ficando o outro à disposição do CD, contudo, o modelo proposto também utilizaria dois veículos, porém agora, o percurso seria de ida e volta para os dois veículos, apresentando assim, um aumento de 33,33% no percurso, conforme apresenta a Tabela 1.

Na Tabela 1 podemos observar que na nova rota K implicou a redução do percurso em 67,09%. Na rota atual da empresa, são utilizados sete veículos com diferentes capacidades, percorrendo um total de 79 km para atender três CDs distintos. Para atender esses mesmos CDs, na nova proposta para a rota K seria utilizado somente um veículo de 8 t, que percorreria uma distância de apenas 26 km, isto é, 53 km a menos.

Na rota atual H são utilizados oito veículos de diferentes capacidades, que percorrem um total de 53 km. Para essa mesma rota, a nova proposta utilizaria somente um veículo, que percorreria apenas 19 km, ou seja, a redução seria de 34 km, como mostra a Tabela 1. Essa situação também se reproduz para as demais rotas, levando assim a redução total de percurso. Dessa forma, as quinze novas rotas permitiriam a redução de percurso de 173 km, ou seja, 18,3% menor quando comparado com o atual modelo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo comprovou que na aplicação da técnica de varredura com o auxílio do *software* ArcGIS® é possível a redução dos percursos de transporte por meio da reprogramação da malha observando os critérios da técnica de roteirização. No modelo proposto a redução no percurso e na quantidade de veículos foi, respectivamente, de 18,3% e 69,8%. Esses resultados podem refletir na redução de custos da malha analisada, no entanto, esse assunto não foi discutido neste trabalho, ficando como sugestão para futuras pesquisas. Mesmo considerando os casos particulares, em que o resultado apresentou elevação à rota original, fica claro que a ferramenta atende a necessidade de um balizador para o processo de roteirização em substituição ao processo empírico atualmente praticado. Nesses casos, recomenda-se um estudo para definição de técnica complementar, sendo necessário para tanto, considerar as particularidades da operação analisada.

REFERÊNCIAS

- BALLOU, R. H.** Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BELFIORE, P.; COSTA, O.; FAVERO, L. P.** Problema de Estoque e Roteirização: revisão bibliográfica. Produção, v.16, n.3, 2006, pp. 442-454.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.** Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2001.
- CUNHA, C. B.** Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais. Transportes, v. 8, n.2, 2000. pp. 51-74.
- ENOMOTO, L. M.; LIMA, R. S.** Análise da Distribuição Física e Roteirização em um atacadista. Produção, v.17, n.1, 2007, pp. 94-108.

ENOMOTO, L. M. Análise da distribuição física e roteirização em um atacadista do Sul de Minas Gerais. 2005. 141 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá. 2005.

GALVÃO, L. C. Dimensionamento de Sistemas de Distribuição através do Diagrama Multiplicativo de Voronoi com Pesos. 2003. 175 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis, 2003.

MELO, A. C. da S.; FILHO, V. J. M. F. Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos. Pesquisa Operacional, v. 21, n. 2, 2001, pp. 223-232.

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

SANTOS, R. P. Introdução ao ArcGIS®. Disponível em: <www.esri.com/software/arcgis/features>. Acesso em: 02/11/2013.