



Exacta

ISSN: 1678-5428

exacta@uninove.br

Universidade Nove de Julho

Brasil

Souza, Anderson Willian; Barzan de Matos Amaral, Daniel; Kenji Oi, Ricardo; Batista
Carneiro, João; Fontebasso Neto, José

Aplicação do método de varredura na roteirização de frota em uma empresa de
transporte e distribuição de cargas fracionadas

Exacta, vol. 14, núm. 1, 2016, pp. 1-10

Universidade Nove de Julho

São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81045305001>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Aplicação do método de varredura na roteirização de frota em uma empresa de transporte e distribuição de cargas fracionadas

Application of the sweep method to vehicle routing in a company for the transport and distribution of fractional loads

Anderson Willian Souza

Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Católica de Santos – Unisantos, Gerente de Centro de Transporte Operacional – unidade São Paulo – na Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos.
andersonwillian7@gmail.com
São Paulo, SP [Brasil]

Daniel Barzan de Matos Amaral

Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Católica de Santos – Unisantos. Engenheiro na ENESA.
danielbarzan@gmail.com
São Paulo, SP [Brasil]

Ricardo Kenji Oi

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas – Unicamp e graduado em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário FEI. Coordenador e professor do curso de Engenharia de Produção na Universidade Católica de Santos – Unisantos.
prof_oi@ymail.com
Santos, SP [Brasil]

João Batista Carneiro

Mestre em Informática e Gerenciamento de Sistemas de Informação pela Universidade Católica de Campinas e graduado em Administração pelo Centro Universitário Lusíada – Unilus. Professor do curso de Engenharia de Produção na Universidade Católica de Santos – Unisantos.
jbcarneiro@unisantos.br
Santos, SP [Brasil]

José Fontebasso Neto

Mestre em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP e graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista – Unesp. Professor do curso de Engenharia de Produção na Universidade Católica de Santos – Unisantos.
prof_jfneto@yahoo.com.br
Santos, SP [Brasil]

Resumo

A crescente atividade do *e-commerce* está associada com a eficiência operacional da logística de cargas fracionadas, uma vez que a confiabilidade na entrega de produtos é um dos fatores decisivos no momento da aquisição pelos consumidores. Assim, o transporte e a distribuição dos produtos devem atender o cliente de maneira rápida, consistente e com baixos custos, o que implica na necessidade da escolha do melhor roteiro possível. Neste trabalho, desenvolveu-se uma ferramenta de roteirização de frota por meio da aplicação da técnica de varredura com o auxílio do *software* ArcGIS®, em uma empresa de transporte e distribuição de cargas fracionadas, que atualmente utiliza um método empírico baseado na experiência adquirida no dia a dia de suas operações ao longo dos anos. A falta de uma metodologia vem trazendo grandes prejuízos à organização, devido à ineficiência das rotas. Como resultado, o modelo proposto reduziu em 25,8% os custos, e em 18,3% os percursos.

Palavras-chave: Logística. Método de varredura. Roteirização de veículos. Transporte.

Abstract

The increasing volume of e-commerce is associated with the operational efficiency of the logistics of fractional loads, given that delivery reliability for products is one of the decisive factors at the time of acquisition by consumers. Thus, the transportation and distribution of products must serve the customer quickly, consistently, and with low costs, which results in the need to choose the best possible route. In this study, we developed a tool for fleet routing in a less-than-truckload transportation company by applying the sweep algorithm with the aid of ArcGIS® software. The company currently uses an empirical method based on the experience gained in daily operations over the years. The lack of a methodology had been generating losses to the organization due to inefficient routes. As result, the proposed model reduced costs by 25.8% and routes by 18.3%.

Key words: Logistics. Sweep method. Transport. Vehicle routing.

1 Introdução

A intensificação do *e-commerce* nos últimos anos está associada com a eficiência operacional da logística de cargas fracionadas, uma vez que a confiabilidade nas entregas dos produtos é um dos fatores decisivos no momento da aquisição dos produtos pelos consumidores.

A distribuição física dos produtos representa uma das últimas etapas do processo de venda, ou seja, é uma extensão do atendimento do vendedor que implica na satisfação do comprador em relação ao fornecedor, mesmo que a transportadora seja um prestador de serviços.

De Almeida e Marcondes (2014) discutem três modalidades de distribuição que podem ser utilizadas em diferentes momentos pelos fabricantes: remessa direta – em que os itens são enviados diretamente do fabricante para o varejo, sem passar por um centro de distribuição; estoques no depósito – adoção de armazéns que mantenham estoques e atendam os varejistas na medida em que os itens são pedidos; e *cross-docking* – em que os itens são distribuídos continuamente dos fornecedores para os varejistas utilizando depósitos, conforme Gümüs e Bookbinder (2004).

A distribuição física é o processo pelo qual se transfere os produtos certos e na quantidade e nos locais corretos, desde o ponto de fabricação até o ponto em que a mercadoria é entregue ao consumidor final, pelo menor custo possível (NOVAES, 2007).

Ressalta-se que os custos com transporte atingem até 60% dos custos logísticos, o que obriga as corporações, cada vez mais, a adotarem ferramentas de planejamento e programação de frota (BALLOU, 2006).

O problema da roteirização de veículos consiste em projetar as melhores rotas a partir de um depósito central para um conjunto de clientes geograficamente dispersos, sujeitas a diversas restri-

ções, como a capacidade do veículo, a distância da rota, o tempo, as janelas, as relações de precedência entre clientes, etc. (LAPORTE, 2007).

Os problemas de roteirização envolvem as seguintes características: tamanho da frota disponível; tipo de frota; garagem dos veículos; natureza e 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 o horizonte de tempo pode ser de curto prazo, normalmente de um único dia. Assim, o objetivo é determinar as rotas 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).

Existe ainda o planejamento das rotas por múltiplos dias, que é tratado por meio da roteirização periódica de veículos. Nesse método, cada dia do período do planejamento, uma frota de veículos capacitados viaja ao longo das rotas que começam e terminam em um único depósito (FRANCIS; SMILOWITZ; TZUR, 2008).

Os trabalhos sobre roteirização de veículos geralmente tratam de casos com carga homogênea. Derigs et al. (2011) desenvolveram um estudo com cargas não homogêneas transportadas em compartimentos diferentes.

Nesse tipo de roteirização é definido um conjunto de roteiros com início e fim no depósito, mediante uma frota de veículos heterogênea, que serve um conjunto de clientes com demanda conhecida, sendo cada um desses visitado exatamente uma vez e a demanda total de uma rota não excede a capacidade do veículo alocado a essa (CHOI; TCHA, 2007).

Ballou (2006) estabeleceu oito princípios para que a roteirização e a programação de veícu-

los sejam eficientes, abrangendo questões como a combinação de paradas em dias diferentes, roteiros iniciados a partir da parada mais distante e a combinação da rota de coleta com a de entrega, 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.

O desenvolvimento de 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 os custos e otimizando o tempo. Contudo, cada técnica aplicada apresenta sua limitação, devendo o profissional escolher o método que se enquadra ao seu problema.

As principais técnicas encontradas na literatura são os métodos heurísticos, o problema do caixeiro viajante, o método de varredura e o de Clarke e Wright (1964).

O método de varredura, também conhecido como *sweep algorithm*, é considerado uma técnica heurística originada nos estudos de Wren e Holliday (1972) e Gillet e Miller (1974), em que

se procura obter a solução dos problemas em duas etapas distintas: a primeira visa a agrupar os pontos de demanda, segundo algum critério de proximidade; na segunda, cada grupo é solucionado de forma independente.

Diversos trabalhos sobre o problema de roteirização de veículos têm abordado o método de varredura como uma heurística de construção e na resolução de problemas de distribuição, conforme os trabalhos de Solomon (1987), Renaud e Boctor (2002), Liu e Shen (1999) e Cordeau et al. (1997). Dondo e Cerdá (2013) aplicaram esta técnica para um estudo de *cross-docking*.

Na et al. (2011) estudaram as características comportamentais do método de varredura original e desenvolveram um novo algoritmo para lidar com as limitações do referido modelo. Com essa extensão, foi possível obter um ganho de 5,2% de melhores soluções, quando comparado com o método original.

O método de varredura apresenta uma sequência lógica para sua aplicação podendo associar com *softwares* para a roteirização e o cálculo do menor percurso, permitindo assim melhorar a precisão e a qualidade dos dados obtidos. Os programas 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 (SILVA MELO; FERREIRA FILHO, 2001).

No Brasil existem diversos sistemas de roteirização, sendo a maioria deles ainda desenvolvida no exterior, com heurísticas de solução que geralmente não são disponibilizadas pelos seus desenvolvedores. Silva Melo e Ferreira Filho (2001) discutem os principais: Trucks; Truckstops; RoadShow; TransCAD; ROTAcerta; e ArcLogistics Route. No trabalho dos autores são apresentados os ganhos significativos que foram obtidos pelas empresas com os sistemas de roteirização.

Existem programas que possuem interfaces com mapas digitais georeferenciados ou sistemas de informações geográficas (SIG), que permitem representar os pontos de atendimento e a malha viária por onde trafegam os veículos. Um SIG possibilita a localização automática de clientes e endereços (CUNHA, 2000).

No atual trabalho, objetivou-se desenvolver um método de roteirização de frota por meio da aplicação da técnica de varredura com o auxílio do *software* ArcGIS®.

A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma malha de 15 rotas para o abastecimento dos 28 centros de distribuição de uma empresa de grande porte que faz transporte e distribuição de cargas fracionadas, situada na cidade de São Paulo. As rotas definidas pela aplicação do método foram comparadas com as rotas atualmente praticadas, tendo como parâmetros de avaliação os custos e a distância percorrida pelos veículos.

A empresa tratada neste estudo não possui uma metodologia padronizada para a roteirização de veículos, sendo esta atividade executada de forma totalmente empírica, baseada única e exclusivamente no conhecimento técnico dos operadores de programação, o que não garante a solução ótima ou subótima. Devido a este fato, as rotas definidas são alteradas recorrentemente para atender novas demandas sem que haja qualquer critério técnico, o que acarreta elevados custos operacionais e tempo de operação em razão da ineficiência das rotas traçadas, com veículos transportando volumes ociosos, o que justifica o desenvolvimento deste trabalho.

2 Metodologia

A empresa abordada neste trabalho é uma organização de grande porte com atuação na cidade de São Paulo, tendo como atividade a distribuição

de carga expressa. Para abordagem do problema estudado aqui, considerando a caráter prático, foi escolhido como método de pesquisa a modelagem e simulação.

Conforme Morabito Neto e Pureza (2012), um modelo é um meio para se chegar a uma visão estruturada da realidade, ou seja, uma representação simplificada de um sistema real. Assim, a nova malha de distribuição da carga da empresa foi modelada e testada em situação real após validação.

O estudo foi conduzido a partir dos dados obtidos de fontes documentais e históricas da empresa, assim como os custos avaliados, tempos de rotas e distâncias percorridas. Importante observar que a frota da organização analisada é composta por um *mix* de veículos que se diferem quanto à capacidade e à origem do patrimônio. Referente à capacidade, a frota está segmentada em quatro classes distintas, a saber: vans (com capacidade de 1,5 t), caminhões $\frac{3}{4}$ (3 t), caminhões toco (8 t) e caminhões trucados (14 t). No que se refere à origem do patrimônio, os veículos podem ser de origem própria ou terceirizada (atuam na operação mediante contrato de prestação de serviços). Os veículos terceirizados possuem as mesmas capacidades dos próprios. Tanto a frota própria como a terceirizada têm seus custos classificados entre fixos, sendo estes relacionados à manutenção, depreciação e salários dos funcionários, e variáveis, que estão atrelados aos custos diretos de operação, como os gastos com combustível. Quanto às distâncias, a métrica adotada foi a de Manhattan, que considera a distância real entre pontos no grafo.

O processo de distribuição de carga tem início a partir de um único terminal de carga (TC), tendo como destino 28 centros de distribuição (CD), que são responsáveis pela entrega das mercadorias ao destino final. A avaliação do trabalho focou na análise de 15 rotas, comparando-as com

o roteiro inicial, tendo como parâmetro de avaliação os custos e distâncias percorridas.

Durante a fase de reconhecimento das características da empresa foram observadas algumas restrições e exigências impostas por força de lei sobre os processos de contratação de soluções logísticas. Diante disso, e considerando a urgência na necessidade de reavaliação de malha, optou-se pela aplicação da técnica de varredura, que é um método heurístico, e sua implantação como procedimento não requer a aquisição de tecnologia específica. Na segunda fase de aplicação da técnica, foi utilizado o *software* ArcGIS®, estando disponível de forma livre em sua versão estudante, o que tornou possível sua utilização sem ônus à empresa.

A técnica de varredura é caracterizada como heurística de duas fases (agrupa e roteiriza). Na fase de agrupamento dos pontos de demanda ou definição dos *clusters*, foi aplicado o critério de varredura dos pontos, ilustrado na Figura 1, observando-se que a soma das demandas de cada *cluster* não excedesse a capacidade dos veículos.

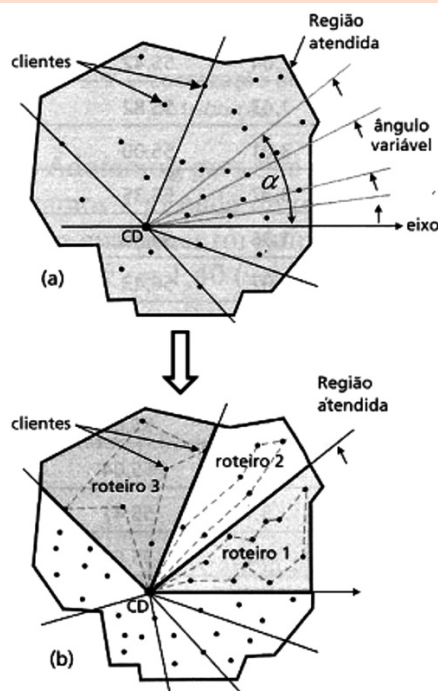


Figura 1: Método de varredura

Fonte: Novaes (2007).

Definidos os *clusters* na etapa de roteirização foi utilizado o ArcGIS®, que elabora e manipula informações vetoriais e matriciais para o gerenciamento de mapas temáticos e disponibiliza um ambiente de sistema de informação geográfica (SIG), que agrega uma gama de ferramentas de forma integrada e de simples manuseio pelo usuário.

No procedimento, foram considerados os princípios de Ballou (2006). A seguir, estão descritas as etapas adotadas no processo de definição dos *clusters* e rotas, que constitui o método aplicado neste estudo.

- Adotou-se o terminal de carga como centro, traçando-se um eixo passando nele.
- Girou-se o eixo em torno do TC no sentido horário, até que a linha incluiu um CD.
- Testou-se o centro de distribuição em potencial, verificando se este poderia ser incluído no roteiro em formação. Para isso, foram verificadas as seguintes questões: “A demanda do cliente a ser incluída no roteiro ultrapassa a capacidade do veículo?”, se a resposta for negativa, continua-se com a rotação da linha até a intersecção da próxima parada. “O volume cumulativo ultrapassará a capacidade do veículo?”, se verificadas que ambas as restrições não foram violadas, o novo CD poderá ser incorporado ao roteiro respeitando o tempo de chegada, e o processo (etapas b e c) continua.
- Se o novo centro de distribuição não pode ser incluído no roteiro em formação, é sinal que as possibilidades deste roteiro se esgotaram. Neste caso, fecha-se o roteiro e inicia-se um novo. O processo termina quando todos os clientes foram incluídos no roteiro (Figura 1b).
- Para cada roteiro, aplica-se um método de melhoria que consistiu na roteirização dos CDs definidos nas rotas utilizando, para

isto, o ArcGIS® com o objetivo de reduzir os percursos, instituindo a melhor rota possível com a menor distância e tempo, assim suprimindo a necessidade do cliente final.

A metodologia neste estudo foi adotada para solucionar o problema de roteirização por meio da aplicação do conhecimento geográfico, associada à análise de diversas rotas independentes, realizando a combinação de informações por meio 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®, que foi utilizado para ordenar as distâncias, mediante as alterações nos roteiros gerados, assim como para analisar se a melhoria implementada otimiza o modelo de roteirização proposto.

3 Resultados e discussão

Como resultado, são apresentadas as 15 rotas da nova malha de roteirização de veículos proposta pelo estudo, que envolve o terminal de carga (TC) e que atende os 28 centros de distribuição (CD), desenvolvida a partir da aplicação do método de varredura juntamente com o auxílio do ArcGIS® e orientada pelas diretrizes de Ballou (2006). Importante ressaltar que, nesta pesquisa, considerou-se o encaminhamento de toda a carga em volume ao seu destino final (CD).

Na Tabela 1, são apresentados os resultados obtidos do parâmetro “distância percorrida” em km e sua comparação com os valores observados nas rotas atuantes na empresa X.

No âmbito do custo, seus resultados são expostos na Tabela 2, na qual se relacionam as 15

Tabela 1: Estudo comparativo em relação ao percurso: modelo atual e o proposto

Rota		CD	Percurso (km)		
			Parcial	Total	Δ (%)
1	Atual	1	20	32	-37,50
		1	12		
	Nova	1	20	20	
2	Atual	2	9	29	-31,03
		2	20		
	Nova	2	20	20	
3	Atual	3	3	37	-8,11
		3	34		
	Nova	3	34	34	
4	Atual	4	19	57	-22,81
		4	19		
		5	10		
		5	9		
	Nova	4	44	44	
5	Atual	6	23	112	-48,21
		6	29		
		6	60		
	Nova	6	58	58	
6	Atual	7	35	105	33,33
		7	70		
	Nova	7	70	140	
		7	70		
7	Atual	8	25	71	-28,17
		8	25		
		9	1		
		9	20		
	Nova	8	51	51	
		9			
8	Atual	10	10	53	-64,15
		10	12		
		11	6		
		11	6		
		11	6		
		11	9		
		12	2		
		12	2		

Fonte: Os autores.

rotas, comparando-as com o modelo atual e o novo (proposto), relativos a um dia de operação.

A Tabela 3 apresenta, de modo geral, o resultado comparativo entre o modelo atual e o novo modelo proposto, tendo como parâmetros o percurso e o custo das rotas estudadas.

Analisando os resultados obtidos no modelo proposto para esta pesquisa, verificaram-se ganhos significativos em comparação com a situação atual da empresa estudada, cuja metodologia é baseada

Tabela 2: Estudo comparativo em relação ao custo: modelo atual e o proposto

Rota		CD	Custo (UM\$)*				
			Parcial	Total	Δ (%)		
1	Atual	1	1.245,00	1.383,60	-10,02		
		1	138,60				
	Nova	1	1.245,00	1.245,00			
2	Atual	2	126,36	1.476,36	-15,67		
		2	1.350,00				
	Nova	2	1.245,00	1.245,00			
3	Atual	3	18,09	2.134,59	-87,38		
		3	2.116,50				
	Nova	3	269,28	269,28			
4	Atual	4	1.282,50	1.688,67	62,20		
		4	256,50				
		5	103,50				
	Nova	5	46,17	2.739,00			
		4	2.739,00				
		5	2.739,00				
5	Atual	6	140,76	751,71	-14,59		
		6	265,35				
		6	345,60				
	Nova	6	642,06	642,06			
6	Atual	7	65,45	192,85	74,59		
		7	127,40				
		7	217,00				
	Nova	7	119,70	336,70			
7	Atual	8	217,50	541,92	8,13		
		8	145,50				
		9	7,92				
	Nova	9	171,00	585,99			
		8	585,99				
		9	585,99				
8	Atual	10	110,70	1.584,60	-25,36		
		10	109,08				
		11	50,58				
		11	405,00				
		11	58,14				
		11	607,50				
		12	121,80				
	Nova	12	121,80	1.182,75			
		10	1.182,75				
		11	1.182,75				
9	Atual	13	26,52	195,41	474,43		
		13	61,94				
		14	60,72				
		14	46,23				
	Nova	13	1.122,50	1.122,50			
		14	1.122,50				
	10	Atual	15	99,54		475,95	-41,71
			16	169,29			
			17	85,32			
			18	88,08			
Nova		15	33,72	277,44			
		16	277,44				
	17	277,44					
11	Atual	19	252,78	2.053,77	-82,91		
		19	74,13				
		19	607,50				
		20	77,22				
		20	103,95				
		20	66,69				
	Nova	21	871,50	351,00			
		19	351,00				
		20	351,00				
		21	351,00				
12	Atual	22	281,43	281,43	222		
	Nova	22	906,30	906,30			
13	Atual	23	2.227,50	2.227,50	-67,38		
	Nova	23	726,66	726,66			
14	Atual	24	58,24	188,68	-48,88		
		25	68,00				
		26	19,04				
		26	43,40				
	Nova	24	96,46	96,46			
		25	96,46				
15	Atual	27	46,00	753,94	-87,27		
		27	63,84				
		28	562,50				
		28	81,60				
	Nova	27	96,00	96,00			
		28	96,00				

*UM= Unidade Monetária

Fonte: Os autores.

apenas no conhecimento técnico dos operadores de programação, ou seja, inteiramente empírica. Na Tabela 3, pode-se observar que os ganhos, conside-

rando a totalidade das rotas, revelam-se na distância total percorrida e no custo, sendo as reduções de 18,3% e 25,8, respectivamente.

Tabela 3: Resumo comparativo: modelo atual e o proposto

Parâmetros	Modelo Atual	Modelo Proposto	Δ (%)
Distância Total (km)	944	771	-18,3
Custo (UM\$)*	15.930,98	11.822,14	-25,8

* UM= Unidade Monetária

Fonte: Os autores.

Assim, das 15 rotas estudadas, 12 apresentaram redução de percurso, conforme revela a Tabela 1. Nesta perspectiva, os ganhos mais significativos deram-se nas rotas 11, 8 e 5, que obtiveram reduções de 67,09%, 64,15% e 48,21%, nessa ordem. Todavia, as rotas L e M proporcionaram um aumento de 100%, seguida da rota F com 33,33%.

A redução das distâncias deve-se também ao fato de que em 12 das 15 novas rotas propostas foi utilizado apenas um veículo, ou seja, uma quantidade inferior à atual praticada, o que não ocorre nas rotas atuais, exceto nas L, M e F. Isso por si só não justifica o aumento das distâncias, é importante ressaltar que nessas três rotas no modelo proposto, além da quantidade de veículos permanecer a mesma, os veículos usados para o transporte da carga seriam exclusivos do terminal de cargas e realizariam o percurso de ida e volta, ao contrário do atual modelo, o que resultou, no caso das rotas 12 e 13, na duplicação dos percursos em questão. Já para a rota 6, o modelo atual utiliza dois veículos, dos quais apenas um retorna para o terminal de cargas, ficando o outro à disposição do CD. Destaca-se que o modelo proposto também utilizaria dois veículos, porém o percurso seria de ida e volta para ambos, apresentando assim, um aumento de 33,33% no percurso, conforme apresenta a Tabela 1.

O aumento ou a redução no percurso influenciou de forma significativa; porém, não exclusivamente nos custos, como mostrado mais adiante.

Existem dois elementos básicos que justificam o aumento, tanto no custo como na distância: o fato de que em muitos casos os veículos utilizados para o transporte do TC para o CD deveriam retornar para o TC; entretanto, isto não ocorre, assim, não se contabilizam os quilômetros e o custo de seu retorno; outro aspecto relacionado ao custo é que existem na empresa veículos próprios e terceirizados, estes últimos são usados preferencialmente por apresentar custo/km inferior à frota própria.

Foi utilizado o seguinte critério: nos percursos de maiores distâncias seriam usados primeiramente veículos com capacidade que atendam seu destino com o custo/km menor; já para percursos de menores distâncias, seriam utilizados veículos com capacidade que também atendam seu destino, mas com o custo/km mais alto.

Esses critérios são simples, mas que não são empregados no atual modelo empírico da empresa. Assim, a redução nos custos com a adoção do modelo proposto seria de 25,8%.

Do mesmo modo, na redução dos custos, os resultados mais expressivos foram obtidos nas rotas C (87,38%), O (87,27%) e K (82,91%). Contudo, houve também em cinco das 15 rotas estudadas aumento no custo: 9, 12, 6, 4 e 7 expressas, respectivamente, por 474,43%, 222,0%, 74,59%, 62,2% e 8,13%.

Retrocedendo o aspecto da relação percurso \times custo, tomando como exemplo a rota 9, a qual, mesmo apresentando elevação expressiva no custo, teve seu percurso reduzido em 35,9%. Isso se deve ao fato de que na seleção dos veículos para todas as rotas foram utilizadas algumas diretrizes de Ballou (2006), e seguindo um critério decrescente da relação custo/veículo \times distância, na qual foi selecionado um veículo com custo/km maior que o já praticado, pois os veículos com custo/km menor já haviam sido utilizados anteriormente em outras rotas com custo benefício mais atraente, mediante

os mesmos critérios mencionados. Ainda assim, foi reduzida a quantidade de veículos necessários para aquela rota, alcançando com isso uma expressiva redução de 35,90% no seu custo.

Na rota 8 são utilizados oito veículos de diferentes capacidades e custos, 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 nesse caso seria de 34 km, o que também refletiria diretamente no custo. Essa situação também se reproduz para as demais rotas, levando, assim, a redução de percurso. Logo, as 15 novas rotas permitiriam a diminuição de percurso de 173 km, ou seja, 18,3% menor quando comparado com o atual modelo.

Nas Tabelas 1 e 2, observa-se que na nova rota 11 a diminuição do percurso implicou também na redução de custo de 82,91%. Na rota atual da empresa, são utilizados sete veículos com capacidade e custo diferentes, percorrendo um total de 79 km para atender três CDs distintos.

Para atender os mesmos três 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, e com um custo/km inferior ao da rota atual, o que resultou em uma grande redução nos custos.

No modelo proposto para a rota 12, o aumento de 100% no percurso foi seguido pelo aumento dos custos, que alcançou 222,0%, como é ilustrada pelas Tabelas 1 e 2.

Esse crescimento nos custos pode ser explicado pelo surgimento natural de restrições da técnica, em que se tem de utilizar para o CD um veículo de 3 t, cuja capacidade é maior do que a usada na rota atual (1,5 t), como consequência, o custo/km também seria maior.

Entretanto, a aplicação da técnica de varredura no decorrer do processo de definição das rotas cria novas restrições de capacidade do veículo e de custo/km, o que obriga a finalização do enca-

minhamento da carga, levando a carga remanescente a utilizar veículos mais dispendiosos ou com capacidade inadequada, elevando os custos.

Na nova rota 13, mesmo com o aumento de 100% no percurso, não ocorreu aumento no custo, pelo contrário, houve redução de 67,38%, conforme mostram as Tabelas 1 e 2. Esse fato é devido ao custo/km ser bem inferior em comparação com a rota atual.

4 Conclusão

Neste estudo, comprovou-se que na aplicação da técnica de varredura com o auxílio do *software* ArcGIS®, acrescentando os critérios de Ballou (2006), é possível a redução dos percursos e custos de transporte por meio da reprogramação da malha, observando-se os critérios da técnica de roteirização.

No modelo proposto, a redução no percurso e no custo foi, respectivamente, de 18,3% e 25,8%. Portanto, mesmo considerando os casos particulares, em que o resultado apresentou elevação referente à rota original, é notório que a ferramenta atende a necessidade de um balizador para o processo de roteirização em substituição ao processo empírico atualmente praticado. Dessa forma, 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, p. 442-454, 2006.

- CHOI, E.; TCHA, D. W. A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, v. 34, n. 7, p. 2080-2095, 2007.
- CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, v. 12, n. 4, p. 568-581, 1964.
- CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. *Transportes*, v. 8, p. 51-74, 2000.
- CORDEAU, J. F.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G. A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks*, v. 30, n. 2, p. 105-119, 1997.
- DE ALMEIDA, M. V.; MARCONDES, R. C. A distribuição física como recurso estratégico de fabricantes de bens de consumo para a obtenção da vantagem competitiva. *Revista de Administração*, v. 49, n. 4, p. 656-670, 2014.
- DERIGS, U. et al. Vehicle routing with compartments: applications, modelling and heuristics. *OR spectrum*, v. 33, n. 4, p. 885-914, 2011.
- DONDO, R.; CERDÁ, J. A sweep-heuristic based formulation for the vehicle routing problem with cross-docking. *Computers & Chemical Engineering*, v. 48, p. 293-311, 2013.
- ENOMOTO, L. M.; LIMA, R. S. Análise da distribuição física e roteirização em um atacadista. *Produção*, v. 17, p. 94-108, 2007.
- FRANCIS, P. M.; SMILOWITZ, K. R.; TZUR, M. *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*. In: The period vehicle routing problem and its extensions. Cham, Switzerland: Springer, 2008. v. 43, p. 73-02.
- GILLET, B. E.; MILLER, L. R. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem. *Operations Research*, v. 22, p. 341-349, 1974.
- GÜMÜŞ, M.; BOOKBINDER, J. H. Cross-docking and its implications in location distribution systems. *Journal of Business Logistics*, v. 25, n. 2, p. 199-228, 2004.
- LAPORTE, G. What you should know about the vehicle routing problem. *Naval Research Logistics*, v. 54, n. 8, p. 811-819, 2007.
- LIU, F. H. F.; SHEN, S. Y. A route-neighborhood-based metaheuristic for vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, v. 118, n. 3, p. 485-504, 1999.
- MORABITO NETO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: MIGUEL, P.A.C. (Coord.). *Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.
- NA, B.; JUN, Y.; KIM, B. I. Some extensions to the sweep algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 56, n. 9-12, p. 1057-1067, 2011.
- NOVAES, A. G. *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- RENAUD, J.; BOCTOR, F. F. A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, v. 140, n. 3, p. 618-628, 2002.
- SILVA MELO, A. C. da; FERREIRA FILHO, V. J. M. Sistemas de roteirização e programação de veículos. *Pesquisa operacional*, v. 21, n. 2, p. 223-232, 2001.
- SOLOMON, M. M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints. *Operations Research*, v. 35, p. 254-265, 1987.
- WREN, A.; HOLLIDAY, A. Computer scheduling of vehicles from one or more depots to a number of delivery points. *Operational Research Quarterly*, p. 333-344, 1972.

Recebido em 3 out. 2015 / aprovado em 11 dez. 2015

Para referenciar este texto

SOUZA, A. W. et al. Aplicação do método de varredura na roteirização de frota em uma empresa de transporte e distribuição de cargas fracionadas. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 1-10, 2016.