

Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção

Problema de roteamento de veículos com coleta e entrega simultâneas: um estudo de caso em uma indústria de alimentos localizada na região do vale do aço

Vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery: a case study in a food industry from region of steel valley

Leônidas de Oliveira Leite¹

Aloísio de Castro Gomes Júnior²

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo de caso em uma indústria de produtos alimentícios localizada na região do Vale do Aço, em Minas Gerais. A empresa conta com caminhões para distribuir seus produtos e, simultaneamente, realizar a operação de Logística Reversa, coletando produtos com prazos de validade expirados ou em condições inadequadas para consumo. O planejamento das rotas de entrega e recolhimento dos produtos é realizado atualmente por meio do software Guia 4 Rodas, um aplicativo de licença livre baseado na Heurística do Vizinheiro Mais Próximo (HVMP). Tendo como objetivo avaliar se tal método garante as rotas de menor custo, foi utilizado um modelo de Programação Linear Inteira (PLI) que descreve o Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultânea (PRVCES), sendo este implementado no ambiente de otimização CPLEX. Os resultados obtidos mostraram que o modelo de PLI, se aplicado para planejar as rotas durante um dia de entregas, traria uma redução de custo de 24,1% se comparado à atual política de roteamento da empresa. Além disso, o PLI proporcionaria outros benefícios que poderiam ser futuramente mensurados, como a menor necessidade de horas extras de motoristas e ajudantes, menor emissão de poluentes no meio ambiente e a diminuição de desgaste dos veículos.

Palavras-chave: Logística. Pesquisa Operacional. Roteamento de Veículos. Otimização. Programação Linear.

¹ Bacharel em Engenharia de Produção, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano/MG, Brasil. leonidasoliveira_15@hotmail.com

² Doutor em Engenharia de Produção, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano/MG, Brasil. aloisio.unileste@gmail.com

ABSTRACT: This paper presents a case study in a food manufacturer from the region of Vale do Aço. The company uses trucks to distribute their products, at the same time, it performs the operation of Reverse Logistics, collecting expired products or products that are unfit for consumption. Currently, the delivery and products pick up routes planning is done using the software Guia 4 Rodas, a free licensed software based on the Nearest Neighbor Algorithm (NNA). Having as goal to evaluate if this method ensures the lowest rout cost, it was used an Integer Linear Programming (ILP) model that describes the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick up and Delivery (VRPSPD). This model was implemented on CPLEX, an optimization software. The results showed that the ILP, if applied to plan the routes during a day of deliveries, would bring a cost reduction of 24.1% compared to the current routing policy of the company. In addition, the ILP would provide other benefits that could be measured in the future, like the reduced need for drivers and driver's assistants to work overtime, the decrease of pollutant emissions on environment and the lower wear of vehicles.

Keywords: Logistics, Vehicle Routing, Optimization, Integer Linear Programming.

1 INTRODUÇÃO

As inovações em manufatura, provenientes especialmente do Japão, como a produção enxuta e o *Just-In-Time* fizeram com que as empresas nacionais deixassem de atuar apenas em seus estados de origem, passando a distribuir seus produtos em outras localidades nacionais internacionais (HARA, 2011). Isso reforça a importância do estudo e da implementação de técnicas que permitam o melhor planejamento do sistema logístico de uma organização. No entanto, muitas vezes os gestores não possuem ou desconhecem ferramentas balizadas cientificamente e tomam suas decisões baseadas tão somente em experiências anteriores e intuição.

Para tanto, a Pesquisa Operacional (PO), ciência que se baseia em modelos matemáticos, estatísticos e de algoritmos para representar um sistema, apresenta um conjunto de técnicas que dão à solução de um problema, contornos quantitativos, mostrando o que se pode ganhar ou perder com uma intervenção sobre o processo produtivo.

A Pesquisa Operacional possui uma gama de aplicações: problemas de planejamento e controle da produção, localização de instalações, logística, corte de materiais, organização de escalas, entre outras, visando sempre maximizar lucros, a minimizar custos, reduzir atrasos e tempos de produção, ao passo que garante o atendimento das demandas de mercado em qualidade e quantidade.

Partindo destas premissas, o trabalho apresenta um estudo de caso em uma indústria de produtos alimentícios localizada em Coronel Fabriciano que entrega produtos em várias

regiões do Brasil. A pesquisa, focada no processo logístico da empresa, teve como objetivo encontrar as rotas de menores custos para atender às demandas de 20 clientes na região do Vale do Aço para coleta de produtos não conformes e a entrega de produtos adequados para uso. Neste estudo foi utilizado um modelo matemático de Programação Linear Inteira que representa o Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas (PRVCES) implementado no software CPLEX, comparando os resultados obtidos com os da política atual de roteamento da empresa: a Heurística do Vizinho Mais Próximo (HVMP), gerada por meio do software livre Guia 4 Rodas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Logística Reversa

Segundo Leite (2003, p. 16), a Logística Reversa é a área da Logística responsável pelo planejamento, operação e controle de movimentações e disseminação de informações referentes ao retorno ou recuperação de produtos após sua comercialização e consumo, trazendo-os de volta à cadeia produtiva por meio de sistemas reversos de distribuição, atribuindo-lhes valores de ordem econômica, ambiental, legal, social e de imagem corporativa.

Ainda de acordo com o autor, por meio de sistemas operacionais, a Logística Reversa possibilita o retorno dos bens ou de seus materiais constituintes ao ciclo de negócios. Ela agrega valores ao planejar as redes reversas e ao operacionalizar o fluxo desde a coleta de bens de pós-consumo ou de pós-venda, tais como: valor econômico, lógico, legal e de localização.

Barros *et al* (2013), baseados em Leite (2009), propõem a classificação da Logística Reversa em de pós-consumo e de pós-venda. A primeira dá ao produto até então residual, uma forma de reutilização (quando possível) ou a destinação adequada. Já a segunda está relacionada aos produtos que estão sem ou com pouca utilização, mas que por algum motivo devem retornar para a cadeia de abastecimento.

Segundo Costa e Valle (2006), devido ao avanço tecnológico dos últimos tempos, o dinamismo da introdução de novos produtos no mercado é alto, o que culmina na redução do ciclo de vida dos produtos já lançados, tornando necessário o descarte dos mesmos. O descarte incorreto gera impactos para a sociedade e para o meio ambiente. Visando mitigar

esses impactos, as empresas, as instituições governamentais e a sociedade devem desenvolver e participar de programas de reciclagem e conscientização. O autor ainda salienta que é dever da organização o cumprimento de legislações ambientais que regulamentam o uso de matérias-primas secundárias, o descarte e o depósito desses produtos em aterros sanitários.

Soares *et al* (2012) enfatizam a importância da Logística Reversa para a sociedade: geração de mais empregos com o surgimento de empresas que fazem a coleta, o tratamento e o reaproveitamento de resíduos; redução de gastos com limpeza pública.

Contudo, Anjos *et al* (2012) ressaltam que as empresas não se utilizam da Logística Reversa tão somente visando aspectos sociais, ambientais e da legislação vigente. Há também o interesse econômico, visto que utilizar esta metodologia sobre os processos logísticos gera redução de custos e maior eficiência operacional por meio da reintegração dos resíduos ao processo produtivo.

2.2 Problemas de Roteamento de Veículos

Goldbarg e Luna (2005, p.370) definem o Problema de Roteamento de Veículos (PRV) como uma série de práticas que têm como meta atender demandas localizadas em diferentes locais de uma rede de transportes, sendo subdividido em nível estratégico, tático e operacional.

Arenales *et al* (2007, p.195), consideram que o PRV tem como objetivo cobrir nós de um grafo por meio de um conjunto de arcos. Os nós são as localidades (fábricas, centros de distribuição, clientes); os arcos correspondem aos caminhos possíveis. O grafo é a composição de nós e arcos.

Em um PRV, a rota sempre terminará no mesmo nó em que teve início, com cada cliente ou localização a ser suprida participando apenas de uma rota. O veículo deve ter sua capacidade respeitada e o tempo de viagem do mesmo não pode exceder o limite permitido. O objetivo é minimizar o custo obtendo um conjunto de rotas mais baratas. (ARENALES *et al*, 2007, p.195).

Um PRV pode apresentar situações especiais. Gomes Júnior (2014, p.19) categoriza as mesmas conforme abaixo:

- PRV com Janela de Tempo – os clientes só recebem os produtos durante um determinado período de tempo ao longo do dia;

- PRV com Frota Heterogênea – a distribuidora conta com veículos de diferentes capacidades para atender as demandas;
- PRV com Múltiplos Depósitos – a empresa conta com mais de um centro de distribuição;
- PRV com Coleta e Entrega Simultânea – a distribuidora entrega produtos e ao mesmo tempo recolhe embalagens retornáveis, embalagens recicláveis ou produtos não conformes e retorna com os mesmos ao centro de distribuição para reaproveitamento ou descarte.

2.3 Problemas de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas

Segundo Mine et al (2009), o Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultânea (PRVCES) é um problema do tipo NP-Difícil que visa construir rotas para atender a requisição de produtos e o recolhimento de resíduos dos clientes simultaneamente. É composto por um Centro de Distribuição que conta com um número de veículos com capacidade definida para atender as demandas de coleta e entrega de clientes.

Carabetti (2010) observa que um Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas deve atender aos seguintes requisitos:

- o início e o fim da rota devem se dar no depósito ou centro de distribuição;
- o cliente só deverá ser visitado uma única vez;
- apenas um veículo deve ser utilizado para atender a um cliente;
- a resultante das demandas de coleta e entrega da rota não pode ser superior à capacidade do veículo;
- as demandas de coleta e entrega devem ser integralmente supridas.

Proposto por Montané e Galvão (2006), o modelo de Programação Linear é específico para resolver Problemas de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas. Neste problema, os parâmetros de entrada são os seguintes:

$n \equiv$ Número Total de Clientes;

$n_0 \equiv$ Número Total de Clientes incluindo o Centro de Distribuição;

$c_{ij} \equiv$ Distância Entre os Clientes i e j ;

$p_j \equiv$ Demanda para Coleta no Cliente j , $j = 1, \dots, n$;

$d_j \equiv$ Demanda para Entrega no cliente j , $j = 1, \dots, n$;

$Q \equiv$ Capacidade do Veículo;

$\bar{k} \equiv$ Número Máximo de Veículos Utilizados;

Já as variáveis de decisão são:

$$x_{ij}^k \equiv \begin{cases} 1, & \text{se o veículo } k \text{ é designado à rota representada pelo arco } (i,j); \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$y_{ij} \equiv$ Demanda coletada dos clientes na rota até o cliente i (incluindo o cliente i) e transportada até o cliente j ;

$z_{ij} \equiv$ Demanda a ser entregue aos clientes da rota após o cliente i e transportada até o cliente j .

As equações de (1) até (10) apresentam o modelo matemático proposto por Montané e Galvão (2006), onde o cliente zero equivale ao Centro de Distribuição.

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{k=1}^{\bar{k}} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{k=1}^{\bar{k}} \sum_{i=0}^n x_{ij}^k = 1, \quad \forall j = 1, \dots, n. \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij}^k - \sum_{i=0}^n x_{ji}^k = 0, \quad \forall j = 0, 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, \bar{k}. \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j}^k \leq 1, \quad \forall k = 1, \dots, \bar{k}. \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^n y_{ji} - \sum_{i=0}^n y_{ij} = p_j, \quad \forall j = 1, \dots, n. \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n z_{ij} - \sum_{i=0}^n z_{ji} = d_j, \quad \forall j = 1, \dots, n. \quad (6)$$

$$y_{ij} + z_{ij} - Q \sum_{i=0}^n x_{ji}^k \leq 0, \quad \forall j = 0, 1, \dots, n; \forall i = 0, 1, \dots, n. \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall j = 0,1,\dots,n; \forall i = 0,1,\dots,n. \quad (8)$$

$$y_{ij} \geq 0, \quad \forall j = 0,1,\dots,n; \forall i = 0,1,\dots,n. \quad (9)$$

$$z_{ij} \geq 0, \quad \forall j = 0,1,\dots,n; \forall i = 0,1,\dots,n. \quad (10)$$

A equação (1) representa a Função Objetivo do problema, procurando minimizar a distância total percorrida pelos veículos. As restrições (2) garantem que cada cliente é visitado exatamente por um único veículo. As restrições (3) estabelecem que o mesmo veículo chega e sai de cada cliente por ele servido. As restrições (4) definem que no máximo \bar{k} veículos serão utilizados. As restrições (5) e (6) são relacionadas ao fluxo das demandas de coleta e entrega, respectivamente, garantindo que ambas as demandas são satisfeitas para cada cliente. As restrições (7) estabelecem que as demandas de coleta e entrega só serão transportadas por arcos contidos na solução, por meio da imposição de um limite superior para o total transportado para um veículo em uma dada seção da rota. Por fim, as restrições de (8) a (10) definem a natureza das variáveis de decisão.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Descrição do Cenário Estudado

A empresa utilizada como objeto para a realização deste trabalho é do ramo alimentício. A mesma está situada às margens da BR-381, em território pertencente ao município de Coronel Fabriciano. Doces, salgados à base de milho e de trigo e refrescos são os principais componentes de um mix que atualmente conta com mais de 30 variedades de produtos, trabalhados em uma área de aproximadamente 231.000 m² entre pátio de carga e descarga de produtos e matérias-primas, e infraestrutura predial para comportar as atuais 9 linhas de produção existentes.

O setor de Logística e Transportes – foco deste estudo – conta com uma frota de 42 caminhões, todos com carroçaria do tipo baú, utilizados tanto para o escoamento das mercadorias – pelas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil – quanto para o transporte de insumos e matérias-primas utilizadas na fabricação dos produtos – geralmente provenientes do estado de Goiás – sempre aproveitando a viagem de retorno à fábrica para realizar esta operação. A capacidade dos caminhões é de 81 m³ de produtos. Para o despacho dos produtos acabados, a empresa utiliza duas esteiras rolantes, estrategicamente posicionadas

de forma a realizar o traslado dos fardos do setor de embalagem para os veículos, tornando a operação mais rápida e prática.

3.2 Metodologia de Pesquisa

O problema estudado gira em torno da técnica utilizada pela empresa para construir suas rotas. A política de roteirização dos veículos baseia-se nos resultados gerados pelo software Guia 4 Rodas.

Neste programa, o usuário fornece como dados de entrada as localizações a serem visitadas pelo veículo que realizará as entregas. Como saída, o software organiza a sequência de locais a serem visitados utilizando a Heurística do Vizinho Mais Próximo (HVMP). Para avaliar se esta técnica é a que garante à empresa a melhor rota possível caso tenha que atender possíveis clientes na região do Vale do Aço, foi realizada uma pesquisa de caráter exploratório. Especificamente neste estudo, objetivou-se comparar os resultados obtidos pela HVMP com os gerados por um software de otimização.

Além de utilizar as informações referentes às distâncias para aplicar a Heurística do Vizinho Mais Próximo, as mesmas também foram implementadas em um modelo de Programação Linear por meio do software CPLEX versão 12.6.2, um software que se utiliza da linguagem matemática AMPL para gerar a melhor solução a um dado problema.

A empresa disponibilizou para o desenvolvimento do estudo um relatório com 1427 cidades atendidas entre os meses de janeiro a setembro de 2015, onde também são mostrados os motoristas e ajudantes que realizam cada um dos trajetos, o código da frota à qual pertence o veículo, a quilometragem percorrida, as datas de saída do centro de distribuição e de retorno, bem como seus respectivos horários.

No entanto, o relatório não traz as informações de endereços de entrega e suas demandas de coleta e entrega. Por isso, foi gerado um cenário fictício, onde a empresa teria a necessidade de planejar as rotas para atender potenciais clientes na região do Vale do Aço, considerando um dia de atendimento. Foram levantados oito possíveis pontos de entrega na cidade de Ipatinga. Nas cidades de Timóteo e Coronel Fabriciano, foram considerados seis possíveis pontos para cada, totalizando 20 clientes. As distâncias características dos percursos foram obtidas utilizando o Google Mapas, um aplicativo online que fornece informações sobre locais e endereços por meio de buscas.

Com o auxílio do aplicativo Google Mapas, foi possível obter os mapas com os pontos de entrega em cada cidade do Vale do Aço durante o período de 1 (um) dia. Em um total de 400 buscas, foram montadas matrizes de distâncias (Figuras 1, 2 e 3) em quilômetros, entre o Centro de Distribuição e as localidades, bem como as distâncias entre as localidades. Os quadros trazem informações relativas às demandas de coleta e entrega (em metros cúbicos) de produtos para cada um dos clientes.

| Destino Origem | CD | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Demanda Coleta | Demanda Entrega |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-----------------|
| CD | 0,0 | 44,7 | 45,8 | 43,3 | 41,9 | 36,6 | 42,2 | 43,7 | 43,7 | - | - |
| 1 | 44,7 | 0,0 | 1,7 | 3,0 | 5,2 | 9,3 | 5,2 | 4,6 | 8,0 | 0 | 15 |
| 2 | 45,8 | 1,8 | 0,0 | 4,3 | 6,5 | 10,5 | 6,5 | 5,8 | 9,2 | 5 | 17 |
| 3 | 43,3 | 2,8 | 3,7 | 0,0 | 4,0 | 8,2 | 6,3 | 2,8 | 6,8 | 2 | 11 |
| 4 | 42,3 | 3,9 | 4,8 | 2,5 | 0,0 | 6,7 | 6,8 | 4,3 | 5,8 | 3 | 10 |
| 5 | 37,4 | 9,6 | 10,7 | 8,2 | 7,2 | 0,0 | 7,1 | 8,6 | 7,1 | 4 | 10 |
| 6 | 40,8 | 5,4 | 6,1 | 5,6 | 7,5 | 5,8 | 0,0 | 8,9 | 10,5 | 0 | 9 |
| 7 | 43,1 | 2,8 | 4,5 | 2,3 | 4,4 | 8,0 | 8,1 | 0,0 | 7,0 | 9 | 11 |
| 8 | 43,1 | 8,4 | 9,3 | 7,0 | 4,5 | 6,6 | 11,3 | 5,2 | 0,0 | 0 | 12 |

FIGURA 1 – Distâncias entre localidades em Ipatinga.

Fonte: Autores (2015).

| Destino Origem | CD | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | Demanda Coleta | Demanda Entrega |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-----------------|
| CD | 0,0 | 28,2 | 28,0 | 29,7 | 28,2 | 29,0 | 30,1 | - | - |
| 9 | 28,3 | 0,0 | 0,7 | 3,0 | 1,7 | 1,8 | 3,3 | 0 | 13 |
| 10 | 28,6 | 1,2 | 0,0 | 2,4 | 2,1 | 2,3 | 2,8 | 2 | 10 |
| 11 | 40,9 | 3,5 | 3,4 | 0,0 | 2,7 | 2,7 | 0,8 | 10 | 12 |
| 12 | 28,6 | 2,2 | 1,8 | 3,6 | 0,0 | 0,8 | 3,0 | 6 | 8 |
| 13 | 28,6 | 1,4 | 1,0 | 2,9 | 1,0 | 0,0 | 3,2 | 3 | 9 |
| 14 | 41,2 | 3,2 | 3,1 | 0,4 | 2,4 | 2,5 | 0,0 | 2 | 11 |

FIGURA 2 – Distâncias entre localidades em Coronel Fabriciano.

Fonte: Autores (2015).

| Destino Origem | CD | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | Demanda Coleta | Demanda Entrega |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-----------------|
| CD | 0,0 | 26,9 | 28,1 | 26,4 | 32,2 | 27,8 | 29,1 | - | - |
| 15 | 27,3 | 0,0 | 1,9 | 0,8 | 5,6 | 1,2 | 2,4 | 2 | 12 |
| 16 | 28,7 | 2,1 | 0,0 | 2,2 | 4,4 | 3,0 | 1,6 | 3 | 11 |
| 17 | 27,5 | 0,7 | 2,4 | 0,0 | 6,1 | 1,6 | 2,5 | 3 | 11 |
| 18 | 34,4 | 6,1 | 4,2 | 6,3 | 0,0 | 7,0 | 4,7 | 5 | 7 |
| 19 | 28,2 | 5,7 | 7,6 | 5,0 | 10,6 | 0,0 | 3,3 | 7 | 12 |
| 20 | 29,7 | 2,8 | 1,7 | 2,9 | 4,6 | 3,7 | 0,0 | 8 | 12 |

FIGURA 3 – Distâncias entre localidades em Timóteo.

Fonte: Autores (2015).

3.3 Resultados e Análise

Utilizando-se dos dados obtidos, primeiramente foi aplicada a Heurística do Vizinho mais Próximo, objetivando verificar como as rotas seriam construídas caso a política de roteamento da empresa fosse adotada.

Para a resolução deste mesmo problema utilizando o ambiente de otimização CPLEX, foi utilizado um microcomputador Infoway, com processador Pentium® (R) Dual-Core 2,00 GHz, 3,00 GB de memória de acesso (RAM) e sistema operacional Windows 7. O tempo de resolução computacional foi de 3,11 segundos.

O gráfico da Figura 4 compara o custo total da rota caso fosse utilizada a política de roteamento da empresa com a solução fornecida pelo CPLEX.

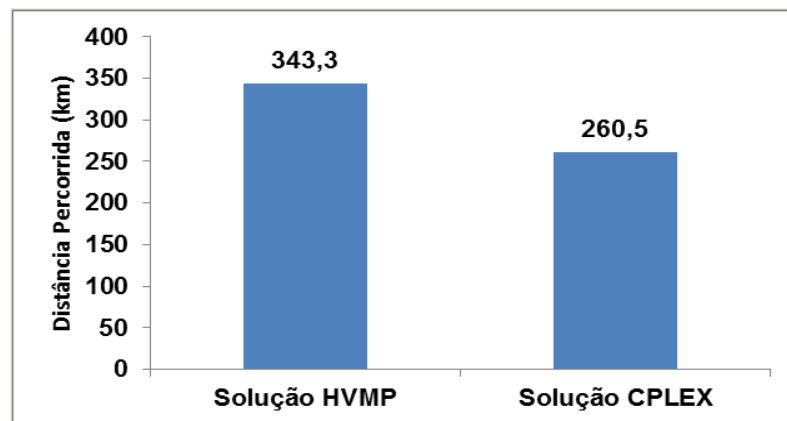


FIGURA 4 – Distância Percorrida (em Km) - HVMP x CPLEX..
Fonte: Autores (2016).

A solução fornecida pela Heurística do Vizinho Mais Próximo gerou uma distância de 343,3 quilômetros, enquanto a solução gerada pelo CPLEX trouxe uma distância de 260,5 quilômetros, uma redução unitária de 82,8 quilômetros e percentual de 24,1% para um dia de entregas.

O gráfico da Figura 5 traz as distâncias percorridas estratificadas por veículo utilizado para atender as demandas.

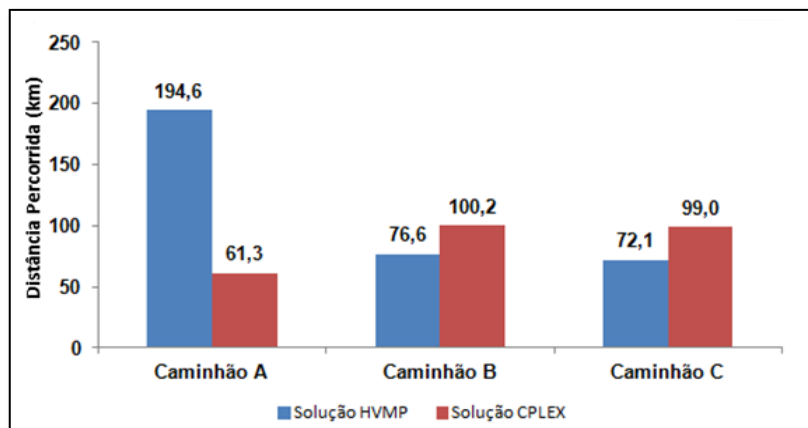


FIGURA 5 – Distância Percorrida (em Km) por Veículo.
Fonte: Autores (2016).

Pode-se observar por meio deste gráfico que a solução gerada pelo CPLEX torna a distribuição das rotas mais homogênea. Enquanto a amplitude da distância (diferença entre a maior e a menor distância percorrida) para a solução gerada pela HVMP é de 122,5 quilômetros, para a solução fornecida do CPLEX é de apenas 38,9 quilômetros. Isso faz com que a carga de trabalho dos veículos, bem como dos motoristas e ajudantes seja mais equilibrada, diminuindo possíveis gastos com horas extras, além de reduzir o desgaste dos trabalhadores, bem como dos caminhões.

Para dimensionar monetariamente os ganhos da resolução computacional em relação ao método heurístico, foram estimados o consumo e o custo dispendido com diesel (Figuras 6 e 7), o combustível utilizado pelos caminhões da empresa. A média de consumo dos veículos é de 3,92 quilômetros para cada litro do combustível, conforme o relatório disponibilizado pela empresa. Conforme a Agência Nacional de Petróleo e Gás (2015), o custo médio unitário de diesel no estado de Minas Gerais é de R\$ 2,97. Tais informações foram tomadas como base para este cálculo.

O consumo de combustível com a implementação da rota gerada pelo CPLEX foi reduzido em 21,1 litros, em comparação aos trajetos oferecidos pela Heurística do Vizinho Mais Próximo. Em termos percentuais, este valor equivale a uma economia de 24,1%. A redução em termos de custo monetário dada pelo CPLEX é de R\$ 62,73. Aparentemente este é um valor irrisório para o negócio da empresa. Mas imaginando um cenário onde são realizadas entregas nos mesmos pontos uma vez por semana, e considerando que um mês de operações logísticas da empresa tenha 4 semanas, pode-se observar que o impacto seria considerável caso o CPLEX fosse utilizado ao longo deste período para determinar as rotas,

conforme mostra o gráfico da Figura 8. As demandas tanto de coleta quanto de entrega são tomadas como fixas ao longo de cada semana.

Admitindo-se estas condições, observa-se que o CPLEX traria uma economia anual de R\$ 3,01 mil reais.

Além da redução de custos, pode-se também mencionar a redução de poluentes na atmosfera como benefício da solução gerada pelo modelo de Programação Linear Inteira.

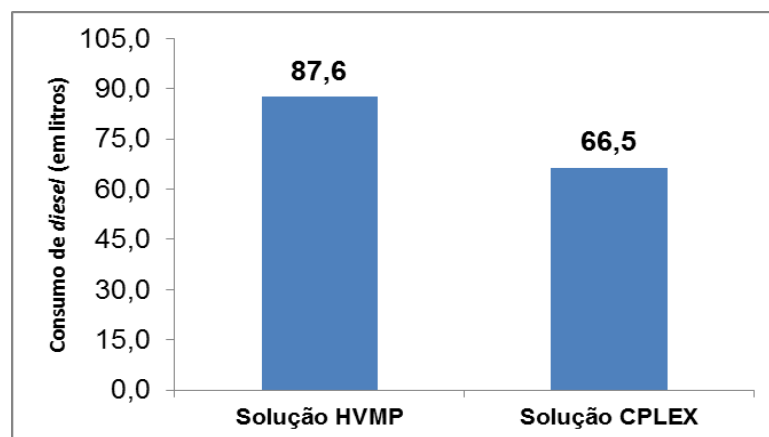


FIGURA 6 – Consumo de diesel (em litros) para rotas do Vale do Aço.
Fonte: Autores (2016).

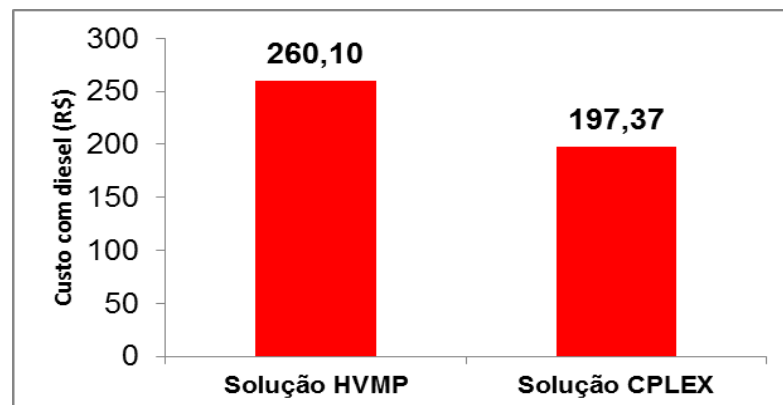


FIGURA 7 – Custo (em reais) do diesel para rotas do Vale do Aço.
Fonte: Autores (2016).

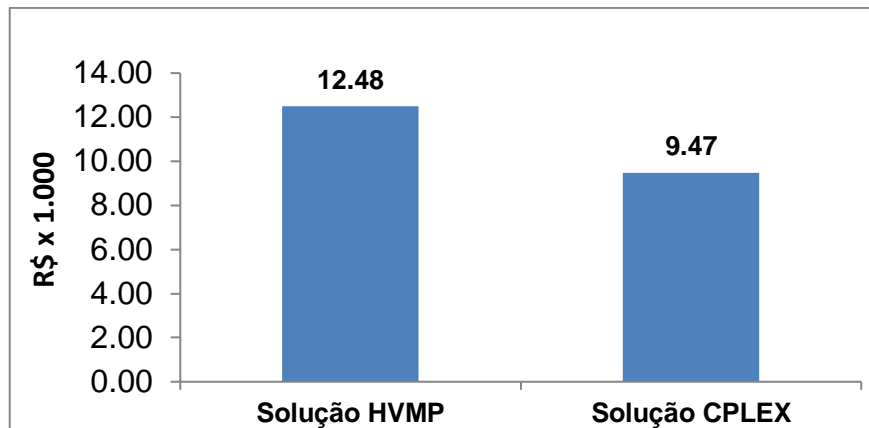


FIGURA 8 – Simulação de Custo Anual (em reais) do diesel.
Fonte: Autores (2016).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho – encontrar a rota de menor custo a ser adotada pelos caminhões para atender a região do Vale do Aço – foi atingido utilizando o método de otimização.

Por meio de um modelo de programação linear inteira específico para resolver problemas de roteamento de veículos com coleta e entregas simultâneas, foi obtida uma redução da distância total percorrida 82,8 km (24,1%) para atender as demandas dos clientes, em comparação ao método utilizado pela empresa atualmente (Heurística do Vizinho Mais Próximo).

Em termos econômicos o modelo de Programação Linear Inteira conseguiu uma redução de R\$ 62,73 para um dia de realização de rotas visando atender os clientes. Extrapolando este resultado para o período anual, onde as mesmas rotas são realizadas uma vez por semana o método de otimização garantiria uma redução de custos de R\$ 3,01 mil reais.

A redução de horas extras em virtude da melhor distribuição da jornada de trabalho, a diminuição de desgaste dos veículos, e a redução de gases poluentes em virtude da queima de diesel vão de encontro à sustentabilidade do negócio da empresa.

Por meio deste trabalho foi possível observar a aplicabilidade da Pesquisa Operacional para as operações industriais, minimizando a utilização dos recursos disponíveis sem prejudicar a qualidade dos produtos ou serviços prestados.

7 REFERÊNCIAS

ANJOS, A. P; CAETANO, L. F.O; MENDOÇA, L.P; LARA, C. A. **Logística Reversa e Sustentabilidade:** Enfoque econômico e ambiental. Disponível em: <<http://www.aems.edu.br/conexao/edicaoanterior/Sumario/2012/downloads/2012/humanas/LOG%20C3%8DSTICA%20REVERSA%20E%20SUSTENTABILIDADE%20ENFOQUE%20ECON%20C3%94MICO%20E%20AMBIENTAL.pdf>>. Acesso em: 14. nov.2015.

ARENALES, M; VINICIUS, A; REINALDO, M; HORACIO, Y. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BARROS, C. A. P; NASCIMENTO, L. A; OLIVEIRA, R. C; PRESTUPA, A. N. L. **A contribuição da Logística Reversa para redução dos custos e do impacto ambiental.** Disponível em: <<http://facig.funedi.edu.br/revista/files/ciencias%20em%20foco/2013/n1semestre1/4.pdf>>. Acesso em: 14. nov. 2015.

CARABETTI, E.G. **Metaheurística Colônia de Formigas Aplicada ao Problema de Roteamento de Veículos Com Coleta e Entrega e Janela de Tempo.** 2010. 60 f. Dissertação de Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional: Programa de Pós-Graduação e Pesquisa - Centro Federal de Educação Tecnológica, Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.files.scire.net.br/atricio/cefet-mg-ppgmmc_upl//THESIS/21/eduardogoeckingcarabetti.pdf> Acesso em: 08.nov.2015.

COSTA, L. G; VALLE, R. Logística Reversa: importância, fatores para a aplicação e contexto brasileiro. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 3., Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Resende, RJ. Associação Educacional Dom Bosco, 2006. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos06/616_Logistica_Reversa_SEGeT_06.pdf>. Acesso em: 13.nov.2015.

GOLDBARG, M.C.; LUNA, H.P.L. **Otimização Combinatória e Programação Linear:** modelos e algoritmos. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GOMES JÚNIOR, A.C.G. **Apostila de Pesquisa Operacional para a Engenharia II.** Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UNILESTE. Escola Politécnica. Coronel Fabriciano-MG, 2014. 79 p.

HARA, C.M. **Logística: Armazenagem, Distribuição e Trade Marketing.** 4.ed. Campinas-SP: Alínea, 2011.

LEITE, P. R. **Logística Reversa:** meio ambiente e competitividade. São Paulo: Pearson Prentice, 2003.

MINE, M. T; SILVA, M.S.A; OCHI, L.S; SOUZA, M. J. S. **O Problema de Roteamento de Veículos com coletas e entrega simultânea:** Uma abordagem via Iterated local Search e Genius. Disponível em <<http://www2.ic.uff.br/~satoru/conteudo/artigos/Paper%20Livro%20CNT-2010-M%20C3%A1rcio.pdf>>. Acesso em: 04 novembro de 2015.

MONTANÉ, F.A.T.; GALVÃO, R. D. **A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service.** Rio de Janeiro, RJ. *Computers and Operations Research*, v. 33, n. 3, 595-619. 2006.

SOARES, T. A; RODRIGUES, P. T; GONÇALVES, G. I. **A Importância da Logística Reversa no âmbito social, ambiental e econômico.** Disponível em: < http://web-resol.org/textos/artigo_58.pdf>. Acesso em: 14. nov.2015.