

APLICAÇÃO DO MÉTODO DA VARREDURA PARA REDUÇÃO DOS CUSTOS LOGÍSTICOS EM UMA EMPRESA DE COMÉRCIO DE HORTIFRÚTI

APPLICATION OF THE SWEEP METHOD FOR REDUCING LOGISTIC COSTS IN A HORTIFRUIT TRADE COMPANY

Guilherme Mendes Rossini* E-mail: guilhermemr93@gmail.com

Tábata Fernandes Pereira* E-mail: tabatafp@unifei.edu.br

*Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, MG

Resumo: O setor de logística possui grande importância quando se trata da competitividade de uma empresa em mercados cada vez mais acirrados, especialmente quando trata-se de produtos alimentícios, cuja qualidade é diretamente impactada pelos cuidados no transporte. Visando reduzir o tempo das entregas e também os custos relacionados ao deslocamento destes produtos, deve-se aperfeiçoar o planejamento logístico para se adaptar ao cenário atual de maneira eficiente. O método da varredura é uma ferramenta para roteirização de veículos que propõe melhores caminhos e sequências para aprimorar a utilização dos recursos disponíveis e reduzir as distâncias percorridas pela frota. O presente artigo tem como objetivo aplicar este método para solucionar o Problema de Roteirização de Veículos (PRV) de uma empresa de comércio de hortifrúti, através de uma pesquisa-ação orientada pelo problema. Ao final de sua aplicação, foi possível avaliar uma redução de 17,3% na distância percorrida pela frota e de 24% nos custos mensais de transporte, confirmando a viabilidade de sua aplicação, além da possibilidade de replicação do modelo para os outros segmentos da empresa de forma ágil e eficiente.

Palavras-chave: Logística de transporte. Problema de Roteirização de Veículos (PRV). Método da varredura.

Abstract: The logistics department has a great significance for a company's competitiveness in a fierce market, especially when dealing with perishable products, in which the quality is directly affected by the transportation process. Aiming to reduce the duration of each delivery and the costs attached to its displacement, the logistics planning must be refined and adapted to the current scenario. The sweep algorithm is a tool for vehicle routing that presents the best visiting sequence to improve the company's resource allocation and reduce the fleet's traveling distance. The present paper intends to use this method to solve a Vehicle Routing Problem (VRP) from a groceries company by means of a research-action oriented by the problem. At the end of its application, it was possible to evaluate a travelling distance reduction of 17,3% and a monthly cost reduction of 24%, assuring the method's viability in addition to the possibility of quick and efficient model replication to other segments of the company.

Keywords: Transport logistics. Vehicle Routing Problem (VRP). Sweep algorithm.

1 INTRODUÇÃO

Em um mercado cada vez mais competitivo e com diversas opções de escolha disponibilizadas, os clientes tornam-se cada vez mais exigentes com a

qualidade dos produtos que adquirem e com os serviços prestados pelas empresas. É importante tentar destacar-se nesse cenário, mas sem onerar demasiadamente os produtos e serviços oferecidos, tornando-se essencial a identificação de gargalos e otimização de diversas áreas das empresas. Entre essas áreas está o setor de logística, o qual vêm ganhando atenção das empresas devido à sua elevada importância na percepção do cliente em diversos setores.

A logística engloba diversas atividades, mas está relacionada principalmente com o transporte de bens e mercadorias. Um planejamento de transportes adequado, que garanta a conservação dos produtos e agilidade na entrega, certamente é um diferencial para uma empresa (BALLOU, 2006). Em certos setores, esse diferencial é ainda maior, como, por exemplo, o *e-commerce*, onde os prazos para entrega e os valores cobrados por cada empresa servem como critério de desempate na escolha de lojas com preços semelhantes para um mesmo produto.

Outro setor que se destaca é o ramo de alimentos, em que a qualidade do produto é diretamente afetada pelo serviço de entrega (LUNE *et al.*, 2015). A escolha de bons fornecedores de alimentos e os cuidados com armazenagem e manuseio não surte o mesmo efeito se a entrega dos produtos for inadequada, visto que por serem perecíveis e alguns frágeis, estes podem ser danificados caso demorem muito a chegar até seus clientes, que por vezes são apenas um intermediário antes do consumidor final, sendo que nesta etapa ocorrem as principais perdas pós-colheita de hortifrútiis (FOSCACHES, 2012).

Nos últimos anos, segundo afirma Viana *et al.* (2016), os consumidores deste segmento estão cada vez mais atentos à qualidade, integridade e diversidade dos produtos, trazendo a necessidade de planejar e sincronizar recebimentos de fornecedores e entregas de maneira rápida. Dessa forma, os métodos de roteirização são utilizados justamente para otimizar a utilização da frota e reduzir as distâncias percorridas em cada rota, reduzindo conseqüentemente o tempo que os alimentos passam dentro dos caminhões.

O presente trabalho tem por objetivo solucionar um problema de roteirização de veículos em uma empresa de comércio e transporte de alimentos, através da aplicação de um método de roteirização, aliado à uma ferramenta de otimização, propondo um novo mapa de rotas a ser trilhado, visando redução nos custos de

transporte envolvidos no processo logístico e no tempo de entrega, sem que haja impacto no nível de serviço prestado aos clientes ou na qualidade dos produtos oferecidos.

Assim, o artigo organiza-se da seguinte forma: a seção 2 aborda uma breve revisão da literatura relacionada ao assunto para melhor entendimento do conteúdo abordado; o tópico 3 trata sobre a metodologia utilizada para condução e estruturação da pesquisa, bem como sua classificação e as ferramentas utilizadas em cada uma das etapas; a seção 4 apresenta o problema em questão e os resultados obtidos com a realização do estudo, além da análise e discussão dos mesmos; e, por fim, no tópico 5, as conclusões e considerações levantadas ao final de sua aplicação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Logística

A logística pode ser entendida como um processo no qual gerencia-se de maneira estratégica não apenas a movimentação de produtos e mercadorias, mas também sua aquisição, manuseio e armazenagem, de forma a atender as demandas com o menor custo possível e, conseqüentemente, maior lucratividade (CHRISTOPHER, 2011). Slack *et al.* (2009) complementa ainda que ela é uma resposta rápida à demanda dos consumidores externos, proporcionando agilidade no processo de tomada de decisão e rapidez na movimentação de materiais e informações.

No entanto, Faria (2005) define o objetivo da logística de modo mais sucinto, sendo este entregar o "produto certo, no lugar certo, no momento certo, nas condições certas e pelo custo certo". Portanto, dentro do setor logístico, existe o planejamento, implantação e controle de fluxos da cadeia de valor desde seu ponto inicial até seu destino, para que a mercadoria chegue até o cliente e atenda suas exigências (PICCIRILLO, 2016). Dentro deste planejamento, de acordo com Bowersox *et al.* (2015), busca-se solucionar quatro tipos de problemas: nível de serviço prestado ao cliente, decisões sobre localização das instalações, decisões sobre estoques e ainda transporte das mercadorias.

Dentre estas quatro áreas, o transporte recebe uma atenção especial, pois representa de um a dois terços de todos os custos envolvidos no processo logístico (JÚNIOR *et al.*, 2015). Quando se trata do transporte de alimentos, como frutas, verduras e legumes, esta atividade ganha ainda mais notoriedade, visto que estes produtos são perecíveis e altamente suscetíveis à danos durante sua movimentação, necessitando, então, de critérios diferenciados (FOSCACHES, 2012 e LINS *et al.*, 2017). O modal rodoviário tem destaque neste setor, uma vez que, segundo Ballou (2006), existe a possibilidade de oferecer um serviço com alta disponibilidade, velocidade e comodidade ao realizar o transporte de porta-a-porta.

Neste cenário, Franco (2015) afirma que a capacidade de solucionar gargalos no processo de distribuição de alimentos perecíveis é o fator que diferencia um alimento bom de um alimento perfeito. Avaliando-se a necessidade de manter a qualidade de produtos frágeis durante seu transporte e o fato de que os custos de transporte chegam a aproximadamente 60% dos custos logísticos, mostra-se fundamental a utilização de uma ferramenta que agilize os processos de entrega e facilite o planejamento da frota (AMARAL *et al.*, 2014). Utilizam-se, assim, métodos de roteirização para mitigar estes problemas.

2.2 Roteirização

A roteirização tem como objetivo encontrar os melhores percursos a serem trilhados por um veículo, em uma malha, para atender a todos os clientes (BALLOU, 2006). Para Belfiore (2006), sua função é estabelecer as melhores rotas para que se reduzam os custos relacionados ao transporte, respeitando sempre a demanda imposta por todos os clientes e também a capacidade da frota disponível. Os projetos de roteirização se iniciam como consequência dos problemas de distribuição física encontrados no planejamento logístico das empresas (NOVAES, 2007).

Segundo Ballou (2006), se adequadamente implantado, este método constitui uma das mais poderosas ferramentas das empresas para garantir um elevado nível de serviço no transporte de seus produtos, enquanto tratam ainda sobre a minimização de custos e diminuição dos tempos. Júnior *et al.* (2013) complementa ainda que a boa utilização desta ferramenta propicia um leque de opções de rotas

benéfico para a empresa, visto que proporciona uma organização da frota e suas restrições em diferentes cenários para evitar desperdícios na prestação de serviços aos clientes.

Ainda segundo o autor, diversos outros benefícios podem ser alcançados com a roteirização, como a melhor utilização dos veículos, redução nos gastos com horas extras e erradicação da sobreposição de rotas e do incorreto dimensionamento da frota, todos fatores que afetam o nível do serviço e elevam os custos oferecidos pela empresa. Já as dificuldades enfrentadas no processo são caracterizadas principalmente pelas decisões relacionadas à alocação do grupo de clientes e o sequenciamento das visitas, obedecendo-se às restrições existentes no processo (NOVAES, 2007).

Estes métodos de organização da frota visam solucionar os chamados Problemas de Roteirização de Veículos (PRV), definidos por Pereira *et al.* (2015) como problemas de aspectos apenas espaciais, não tratando outros fatores como precedência ou manuseio dos materiais. Para resolver os PRV's, existem dois tipos de roteirização, a sem restrições e a com restrições, sendo o primeiro denominado Problema do Caixeiro Viajante (PCV), resolvido através da utilização de algoritmos variados (NOVAES, 2004). Já o segundo tipo, como mencionado por Luna *et al.* (2015), apresenta restrições e aborda diversos fatores como tempos de parada, jornadas de trabalho e janelas de tempo.

A importância da roteirização dentro das organizações pode ser salientada pela expansão no número de pesquisas e aplicação destes métodos, sendo usada sempre para otimizar processos e auxiliar na consolidação das práticas logísticas (ALENCAR *et al.*, 2015). As principais técnicas presentes na literatura, segundo o próprio autor e também Souza *et al.* (2016), são o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), os métodos heurísticos, o método da varredura e ainda o de Clark e Wright. Independente do modelo a ser utilizado, Ballou (2006) elaborou oito princípios para que as técnicas de roteirização sejam eficientes, que consistem em:

1. Carregar caminhões com volumes destinados a paradas que estejam mais próximas entre si;
2. Paradas em dias diferentes devem ser combinadas para produzir agrupamentos concentrados;

3. Iniciar os roteiros a partir da parada mais distante do centro de distribuição;
4. Realizar o sequenciamento das paradas num roteiro que deve ter a forma de lágrima;
5. Os roteiros mais eficientes são aqueles que fazem uso dos maiores veículos disponíveis;
6. A coleta deve ser combinada nas rotas de entrega, em vez de reservada para o final dos roteiros;
7. Uma parada removível de um agrupamento de rota é uma boa candidata a um meio alternativo de entrega;
8. As pequenas janelas de tempo de paradas devem ser evitadas.

2.3 Método da varredura

Também chamado de *sweep algorithm*, este método utiliza duas etapas distintas para obter a solução do problema, onde primeiramente agrupa, segundo algum critério de proximidade, os pontos de demanda, para que cada um desses grupos tenha suas rotas traçadas de maneira independente (SOUZA *et al.*, 2016). Ele pode ser ainda, segundo Souza *et al.* (2014), combinado com a utilização de softwares ou outros algoritmos para obter maior qualidade e precisão nos resultados obtidos, especialmente no momento de definir as rotas de cada grupo. São descritos por Ballou (2006) alguns procedimentos para aplicação deste modelo de maneira correta:

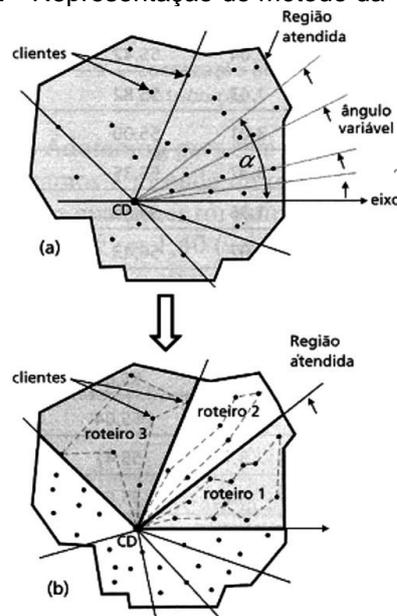
1. Definir como ponto de origem a empresa ou centro de distribuição no qual se encontra o produto, traçando um eixo que atravessa esse ponto;
2. Rotacionar o eixo em torno do ponto de origem em sentido anti-horário até que um destino seja incluído (Figura 1a);
3. Testar o destino em potencial com relação à quantidade de mercadorias demandadas e o tempo necessário para realizar a atividade. Se a adição destes à rota atual não ultrapassa o limite de capacidade do veículo ou a jornada de trabalho permitida por dia, este ponto é adicionado à esta rota.
4. Caso o destino exceda os limites e não possa ser incluído no roteiro atual, este é então encerrado e inicia-se um novo a partir deste ponto. O

processo se encerra quando todos os destinos forem incluídos em um roteiro (Figura 1b);

5. Para cada roteiro definido, utiliza-se um método de melhoria para definir as rotas mais curtas e menos custosas.

Dessa forma, garante-se o atendimento de todos os clientes, sem violar as restrições existentes no processo, de modo a otimizar a distribuição dos materiais. Este método é aconselhável para situações onde a empresa possui uma quantidade razoável de clientes e há a necessidade de apresentar uma rápida resposta para a formatação de cargas, visto que existe pouco tempo para a operacionalização e expedição dos veículos associados às restrições de capacidade de carga e tempo de entrega (BALLOU, 2006; NOVAES, 2007). O método de melhoria a ser aplicado na segunda etapa do projeto deve ser selecionado de acordo com a complexidade da disposição dos clientes dentro de cada rota definida na primeira fase.

Figura 1 - Representação do método da varredura



Fonte: Novaes (2007).

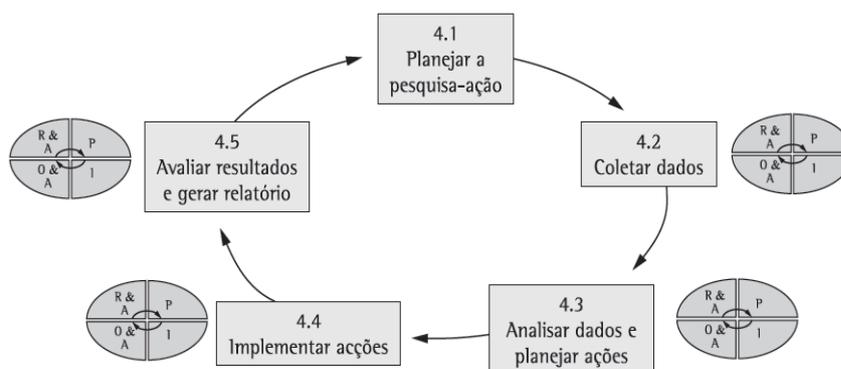
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho foi desenvolvido em uma empresa de comércio e transporte de hortifrúti localizada no interior do estado de São Paulo. O projeto teve o intuito de propor um modelo de rotas otimizado para redução nos custos de transporte e melhoria do nível de serviço prestado. Para avaliar e propor soluções ao

problema, utilizou-se de observação participante, onde há interferência no objeto de estudo de maneira cooperativa com os demais participantes, visando solucionar o problema e ainda realizar uma contribuição à literatura do tema abordado. Sendo assim, este tipo de pesquisa pode ser caracterizado como uma pesquisa-ação (MELLO *et al.*, 2012).

A pesquisa, segundo os critérios de classificação apresentados por Turrioni e Mello (2012), é de natureza aplicada, pois tem interesse prático, com objetivo exploratório, dado que busca testar hipóteses para o problema norteador da pesquisa, e abordagem quantitativa, visto que utiliza de dados numéricos para interpretar os fenômenos e também para atribuir significado a eles. A metodologia utilizada para a condução da pesquisa-ação segue o modelo proposto por Mello *et al.* (2012), que é apresentado na Figura 2 e tem suas etapas detalhadas na Figura 3. Os ciclos que acompanham as seções 4.2 à 4.5 são chamados de ciclos de melhoria e aprendizagem, semelhante a um modelo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), onde P representa a etapa de Planejamento, I a de Implementação, O&A Observação e Avaliação e R&A Reflexão e Ação.

Figura 2 - Estruturação para condução da pesquisa-ação



Fonte: Mello *et al.* (2012).

A primeira etapa é definida pelos autores em quatro partes, sendo que a primeira trata sobre como o projeto se iniciou, através de um estudo na literatura e futuramente aplicação em um objeto de estudo (iniciação dirigida pela pesquisa) ou avaliação de um problema em ambiente real para posterior análise e solução. Em seguida, é preciso definir a estrutura conceitual-teórica do problema, determinando o objetivo do estudo e mapeando a literatura relacionada à ele. Assim, pode-se

escolher a unidade de análise e as ferramentas de coleta de dados a serem utilizadas, para que enfim o problema possa ser delimitado e os critérios de avaliação deste sejam estabelecidos.

Na etapa de coleta de dados (4.2 - Fig. 2), aplicando-se as ferramentas determinadas anteriormente, deve-se registrar todos os dados referentes ao projeto e realimentá-los sempre que necessário, mantendo uma base confiável e atualizada das informações obtidas. Esses dados devem ser tabulados e comparados empiricamente com a teoria (etapa 4.3 - Fig. 2), a fim de avaliar sua adequação antes da realização do plano de ações a ser implantado. A quarta etapa (4.4 - Fig. 2) consiste na implementação desse plano de ação, interferindo no objeto de estudo para avaliar os resultados do planejamento traçado e definir sua eficácia e possibilidade de futuras replicações.

4 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

Nesta seção será descrita a aplicação da metodologia escolhida no objeto de estudo selecionado, demonstrando a definição e condução de cada etapa no problema apresentado.

4.1 Planejamento da pesquisa-ação

O projeto teve sua iniciação dirigida pelo problema, visto que a empresa apresentou um problema a ser solucionado para que então este pudesse ser contextualizado e fundamentado teoricamente. Em casos em que a pesquisa se inicia através do problema, os autores do modelo recomendam que a definição do contexto e do propósito sejam realizadas antes da definição da estrutura conceitual-teórica e da seleção da unidade de análise, devido à necessidade de compreender o problema apresentado para assim contextualizá-lo na literatura correspondente.

Foi detectado que o problema da empresa se caracterizava como um PRV, oriundo do crescimento recente da empresa, sem um acompanhamento adequado do planejamento logístico. O objetivo Definiu-se o método da varredura como o mais apropriado para lidar com a situação, seguindo os princípios de Ballou (2006), apresentados anteriormente na seção 2.3 e na Figura 1, para a condução do

mesmo. O método foi escolhido pela agilidade com que pode ser aplicado, dado que a empresa seguia operando e precisava de uma resposta rápida para a questão da organização da frota.

4.2 Coleta de dados

A coleta dos dados se deu em duas etapas, primeiramente levantando todos os dados que a empresa possuía e que eram pertinentes ao problema e posteriormente coletando as informações faltantes para a continuação da pesquisa. As coletas se deram através da utilização de três ferramentas distintas, apresentadas por Turrioni e Mello (2012), sendo elas entrevistas não-estruturadas com os gestores, pesquisa documental para levantamento de dados históricos e observações participantes. Foram coletados dados referentes à capacidade dos veículos, período disponível para transporte das cargas, quantidades a serem entregues à cada cliente, distâncias entre cada cliente e custos diretos relacionados ao transporte das mercadorias.

4.3 Análise dos dados e planejamento das ações

Foram utilizados os softwares Google Maps®, para auxiliar na avaliação da disposição dos clientes e levantamento das distâncias relativas, e Microsoft Excel®, com a finalidade de organizar dos dados obtidos e calcular os custos envolvidos, para analisar as informações obtidas. Uma vez devidamente organizados, foi possível verificar as restrições de cada veículo para um dia de trabalho e compará-las com as necessidades dos clientes, viabilizando a aplicação do método escolhido. O plano de ação foi definido seguindo-se as 5 etapas propostas por Ballou (2006), onde, na última etapa, será utilizada a ferramenta Solver para otimizar cada rota. Os valores serão então comparados a fim de verificar os resultados obtidos com a aplicação do modelo, realizando também sua correta documentação para possibilitar futuras replicações.

4.4 Implementação das ações

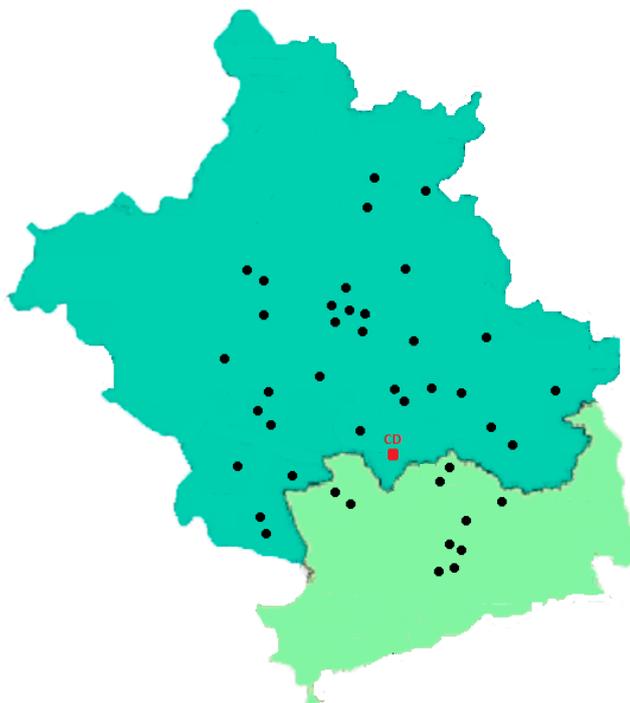
Seguindo as etapas de aplicação do método da varredura, os clientes puderam ser agrupados de acordo com as restrições dos caminhões. A quantidade de mercadoria demandada pelo cliente, o tempo necessário para chegar até ele e o tempo para descarga são comparados com a capacidade máxima do caminhão e a janela de tempo disponível para realizar as entregas, respeitando sempre os horários de trabalho dos empregados e as precauções com relação às horas do dia nas quais o caminhão está em trânsito. Sempre que ultrapassada alguma das restrições do caminhão, a rota era encerrada e era dado início à uma nova, até que todos os clientes estivessem sendo atendidos. Após o agrupamento, a ferramenta Solver avalia os dados inseridos no programa e, baseado nas restrições e nas informações inseridas, retorna o melhor trajeto a ser trilhado pelo veículo para reduzir a distância percorrida. A avaliação dos resultados obtidos é apresentada na seção 5.

5 RESULTADOS

A empresa em questão trabalha com o comércio e transporte de produtos do ramo de hortifrúti no interior do estado de São Paulo, sendo que a maior parte das vendas ocorre para outras empresas. O tipo de caminhão para transportar os produtos depende do tipo de alimento a ser transportado, pois alimentos mais frágeis (como hortaliças e certas frutas) necessitam de transporte em caminhões refrigerados, enquanto alimentos mais resistentes (como alguns legumes e tubérculos) podem ser transportados em caminhões comuns. Independente de qual tipo será transportado, os caminhões trafegam majoritariamente durante horário de sol menos intenso e conseqüente temperatura mais amena, limitando o horário para entregas.

Como trata-se de frotas diferentes, serão tratadas no estudo as entregas para clientes que solicitaram os alimentos mais duráveis para que o modelo possa ser avaliado, podendo este ser aplicado posteriormente nas entregas de outras categorias. A localização da empresa (representada pela sigla CD) e dos respectivos clientes são apresentadas na Figura 3.

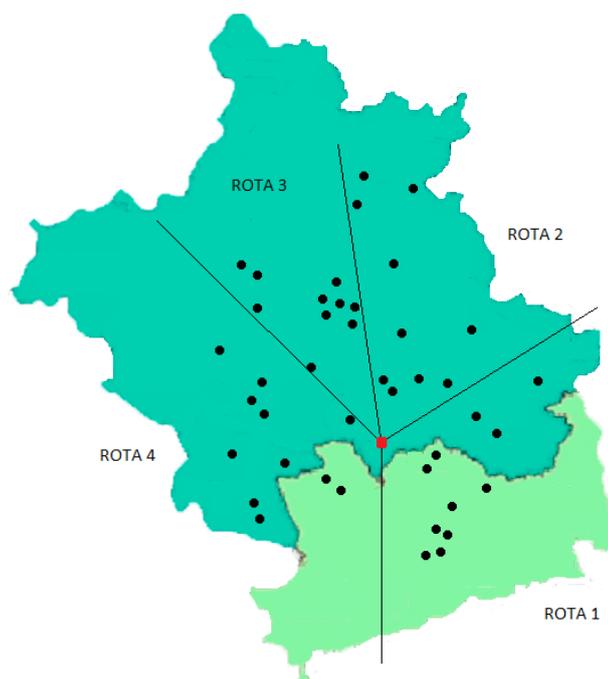
Figura 3 - Disposição dos clientes



Fonte: Autoria própria.

A partir desse modelo, pode-se dar início à aplicação do método da varredura, seguindo os passos propostos por Ballou (2006). Primeiramente, foi traçado um eixo que atravessava o ponto CD que representa o local do qual partem as mercadorias. Este eixo foi então rotacionado até que encontrasse um ponto de entrega em potencial para que o mesmo fosse testado em relação às restrições. O caminhão possui capacidade máxima para transportar 1,8 tonelada de carga e viaja a uma velocidade média de 65 km/h, sendo que as entregas duram em torno de 15 minutos e os caminhões podem viajar por até 6 horas sem que rodem em horário inapropriado devido ao calor. Assim, caso a inclusão do novo cliente ultrapassasse o limite da rota, esta era encerrada e iniciava-se uma nova a partir deste cliente. O resultado é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Aplicação do método da varredura



Fonte: Autoria própria.

Definidas as rotas, inicia-se o planejamento do trajeto a ser realizado pelo caminhão. Nesta etapa, com o auxílio do software Google Maps®, foram definidas as distâncias entre cada cliente presente na rota, para que então, através da ferramenta Solver do Microsoft Excel®, fosse possível avaliar a rota mais curta em cada situação. Para a utilização do Solver, é importante definir a função objetivo e as restrições que devem ser inseridas para que o resultado obtido seja realmente o ideal.

Tratando primeiramente sobre a função objetivo do nosso problema, deseja-se reduzir a distância viajada, portanto o objetivo do programa será minimizar o valor obtido nesta função. Ela pode ser descrita como a soma de todos os percursos possíveis em uma rota multiplicados por suas respectivas distâncias, ou seja, a multiplicação da variável AB (que represente o trajeto de A até B) pela distância entre esses pontos, mais a multiplicação de AC por sua respectiva distância, até que todos os percursos possíveis tenham sido inseridos, resultando em uma função como apresentada na equação 1.

$$\text{Min } Z = 7,2 \text{ AB} + 9,4 \text{ AC} + [\dots] + 13,8 \text{ LK} \quad (1)$$

Em seguida, são inseridas as restrições do problema em questão. Primeiramente, as variáveis de decisão recebem apenas valores binários, sendo que, quando atribuído valor 1 à determinada rota, esta deve ser utilizada, já zero identifica que esta não deve ser utilizada. Para garantir que o veículo não utilize uma mesma rota mais de uma vez em sentidos opostos (viajar de A para B e também de B para A), a soma das variáveis deve ser menor ou igual a um. Isso deve ser feito para todos os trechos existentes, sendo que o exemplo dado é representado na equação 2.

$$AB + BA \leq 1 \quad (2)$$

Outro fator importante é considerar que só se pode entrar e sair de um ponto uma vez, fazendo com que a soma de todos os percursos que chegam à um ponto sejam igual a 1 e a soma de todos os percursos que saem de um ponto também sejam iguais a 1, assim como representado na equações 3 e 4 para o ponto A.

$$AB + AC + AD + AE + AF + AG + AH + AI + AJ + AK + AL = 1 \quad (3)$$

$$BA + CA + DA + EA + FA + GA + HA + IA + JA + KA + LA = 1 \quad (4)$$

Por fim, é preciso evitar a criação de subciclos na resposta para assegurar que todos os pontos serão atendidos dado que o caminhão partiu da empresa e termina seu percurso na empresa. Os subciclos mais aparentes foram adicionados logo no início do problema, sendo que, caso a solução apresentasse um novo subciclo, uma nova restrição era adicionada para prevenir que este ocorresse e a ferramenta era utilizada novamente, até se obter o resultado esperado. Um exemplo deste tipo de restrição está presente na equação 5

$$AB + BC + CA \leq 2 \quad (5)$$

Assim, a definição das distâncias relativas bem como o arranjo para solução do problema são apresentados na Figura 5, enquanto a Figura 6 detalha as restrições inseridas no Solver e a Figura 8 demonstra os valores obtidos.

A quarta linha do quadro de restrições (Figura 6) representa a impossibilidade de percorrer um trajeto mais de uma vez, enquanto os valores de B31 à M31 e N19 à N30 representam a soma de todos os caminhos que entram ou saem de cada ponto, os quais devem possuir soma igual a 1.

Figura 5 - Distâncias relativas e arranjo do problema

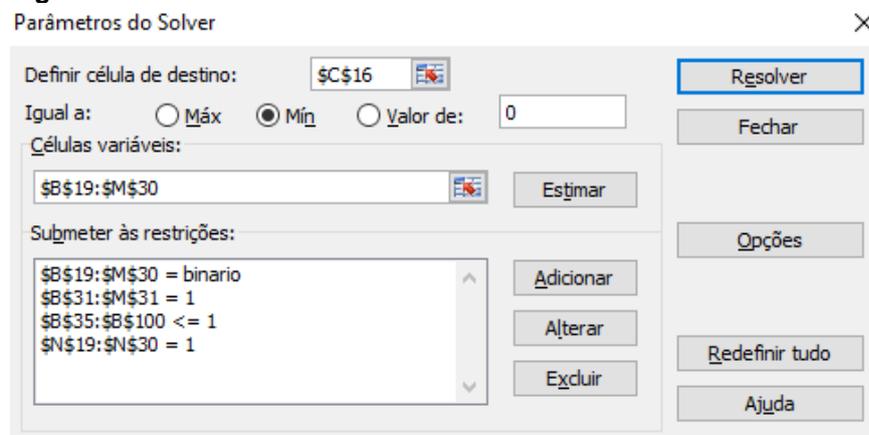
	ROTA 1											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	-	7,2	9,4	18,2	16,6	17,8	19,2	21,2	24,8	19,6	18,6	30,4
B	7,2	-	2,4	10	9,2	12,8	14,2	16,6	18	9,6	9	23,6
C	9,4	2,4	-	10,6	8,8	12	13,6	15	16,4	13,8	15,2	27,6
D	18,2	10	10,6	-	5,6	10,2	12	13,8	16	11,6	16,2	25,8
E	16,6	9,2	8,8	5,6	-	4,8	5,6	7,4	10,4	12	17,6	28,4
F	17,8	12,8	12	10,2	4,8	-	2	3,8	4	16,2	22,4	35,6
G	19,2	14,2	13,6	12	5,6	2	-	3	4,8	17,6	23,2	34
H	21,2	16,6	15	13,8	7,4	3,8	3	-	2	22,4	28	37,4
I	24,8	18	16,4	16	10,4	4	4,8	2	-	25,4	29,6	42,4
J	19,6	9,6	13,8	11,6	12	16,2	17,6	22,4	25,4	-	4,2	10,8
K	18,6	9	15,2	16,2	17,6	22,4	23,2	28	29,6	4,2	-	13,8
L	30,4	23,6	27,6	25,8	28,4	35,6	34	37,4	42,4	10,8	13,8	-

Função Objetivo =SOMARPRODUTO(B3:M14;B19:M30)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autoria própria.

Figura 6 - Parâmetros do Solver



Fonte: Autoria própria.

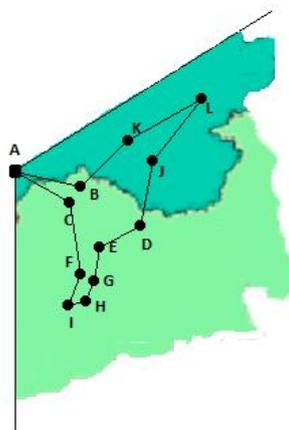
Figura 7 - Resolução do Solver

Função Objetivo														94
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
A	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
C	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
E	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
G	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
H	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
I	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
K	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Fonte: Autoria própria.

Avaliando os resultados apontados na Figura 7, nota-se que receberam valor 1 os caminhos que devem ser utilizadas para que seja percorrido o menor trajeto nesta rota, portanto a sequência de visitas deve ocorrer da seguinte forma: A - C - F - I - H - G - E - D - J - L - K - B - A. Aqui, o CD é chamado de ponto A para evitar confusão no momento de construir o modelo e seus parâmetros. A representação da rota definida pode ser vista na Figura 8.

Figura 8 - Roteiro de visitas da Rota 1



Fonte: Autoria própria.

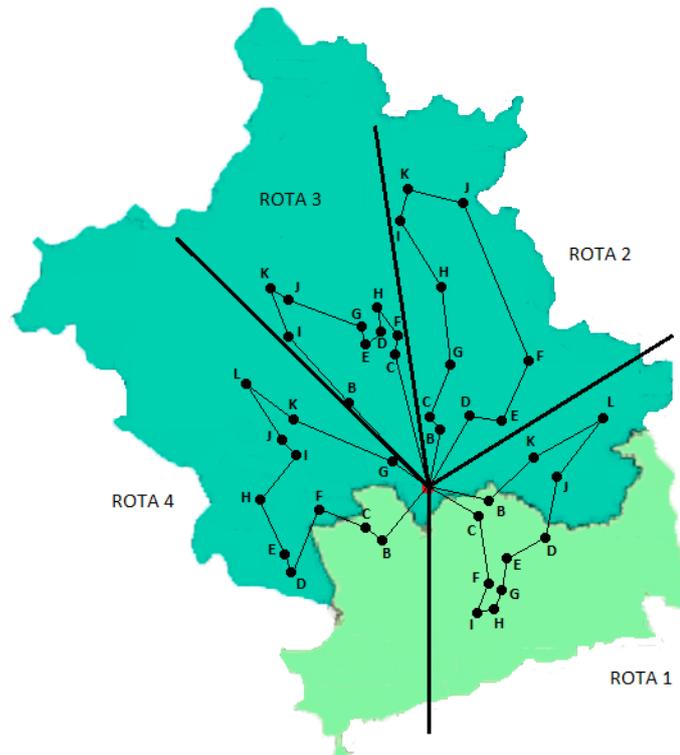
O mesmo procedimento foi repetido para as rotas restantes: foi calculada a distância relativa entre cada ponto de entrega (com a letra A representando o CD em todos os casos) e estas inseridas no modelo construído para aplicação da ferramenta Solver, sendo que cada valor 1 assinalava o melhor caminho a ser trilhado e o conjunto das variáveis com valor 1 construía o trajeto ideal. A representação da rota obtida em cada ocasião é disposta na Figura 9 e no Quadro

Quadro 1 - Melhores trajetos

Rota	Sequência de visitas
1	A - C - F - I - H - G - E - D - J - L - K - B - A
2	A - D - E - F - J - K - I - H - G - C - B - A
3	A - C - F - H - D - E - G - J - K - I - B - A
4	A - G - K - L - J - I - H - E - D - F - C - B - A

Fonte: Autoria própria.

Figura 9 - Representação das rotas otimizadas



Fonte: Autoria própria.

O modelo proposto sugere a utilização de quatro caminhões para realizar as entregas, diferentemente do que é utilizado atualmente, onde são utilizados cinco caminhões para atendimento destes mesmo clientes, além de proporcionar, como esperado, uma redução na distância total percorrida pela frota para atendimento dos clientes, que caiu de 526 km por dia para 435 km por dia, redução de 17,3%. A redução mensal e sua respectiva economia são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Custos variáveis de transporte

Custo	Preço	Km	Preço/Km
Revisões	R\$ 612,00	1000	R\$ 0,061
	R\$ 910,00	2000	R\$ 0,046
	R\$ 821,00	3000	R\$ 0,027
	R\$ 1.149,00	4000	R\$ 0,029
	R\$ 2.282,00	5000	R\$ 0,046
	R\$ 1.012,00	6000	R\$ 0,017
Pneus	R\$ 1.400,00	7000	R\$ 0,020
Combustível	R\$ 3,80	8	R\$ 0,475
		Total	R\$ 0,720

Fonte: Autoria própria.

Para avaliar os custos relacionados ao transporte e os possíveis ganhos proporcionados pelo método utilizado, pode-se dividir estes custos em duas categorias, fixos e variáveis, onde o primeiro é representado pelo salário mensal dos caminhoneiros e carregadores, visto que estes possuem remuneração fixa e trabalham apenas com a empresa, e pelo seguro mensal do veículo. Já os custos variáveis são alterados conforme a quantidade de quilômetros percorridos pelo veículo. A composição dos custos variáveis, que englobam atividades como alinhamento e balanceamento, trocas de óleos e filtros e outras atividades de manutenção preventiva, está disposta na Tabela 1 segundo a distância necessária para a realização do serviço, enquanto a Tabela 2 apresenta o ganho mensal. Para o cálculo dos valores apresentados, foi considerado um mês com 22 dias úteis.

Tabela 2 - Comparativo de gastos mensal com transporte

		Fixo			Variável		Total
	Veículos	Salários	Seguro	Total fixo	Km/mês	R\$/km	Total variável
Atual	5	R\$ 2.500,00	R\$ 1.000,00	R\$ 17.500,00	11572	0,72	R\$ 8.331,84
Proposto	4	R\$ 2.500,00	R\$ 1.000,00	R\$ 14.000,00	9570	0,72	R\$ 6.890,40
							Redução R\$ 4.941,44
							24%

Fonte: Autoria própria.

Avaliando os dados obtidos, foi possível constatar uma redução na distância percorrida pela frota igual a 17,3%, enquanto a redução nos custos mensais com o transporte dos produtos atingiram um valor equivalente a 24%. Além da redução nos custos variáveis, um ponto importante para a redução dos gastos obtida foi a possibilidade de atender todos os clientes utilizando apenas 80% da frota usada

anteriormente, reduzindo a quantidade de mão-de-obra necessária e possibilitando a realocação destes profissionais para outro centro ou outras funções, podendo até designá-los para o transporte de produtos de outra categoria, como os transportados sob refrigeração.

É importante salientar que fatores externos podem afetar a duração das viagens ou os valores atribuídos a cada item, como, por exemplo, o valor do combustível, que possui variação constante. De qualquer forma, por mais que houvessem pequenas diferenças nos valores monetários apresentados, a redução na distância percorrida representa uma variação equivalente nos custos variáveis, portanto estas flutuações não desqualificam a aplicação do modelo. Não foram considerados valores referentes à impostos ou custos indiretos relacionados aos trabalhadores nesta avaliação.

Todos os dados apresentados no trabalho são estimados através das informações coletadas considerando-se um dia normal de expediente, no entanto podem existir variações em virtude de fatores externos e alheios ao planejamento. Desse modo, é importante monitorar o desempenho do modelo na prática e avaliar se os valores obtidos flutuam próximos ao esperado, visto que utilizar uma rota mais curta, porém extremamente problemática, pode trazer mais perdas do que utilizar uma mais longa. Portanto, o modelo pode ser adaptado caso sejam constatadas interferências regulares e negativas aos trajetos definidos.

6 CONCLUSÕES

O planejamento logístico possui grande importância dentro da empresa e impacta diretamente em seu funcionamento, em suas finanças e na qualidade do serviço prestado e do produto entregue ao consumidor, uma vez que se trata do transporte de alimentos perecíveis. Assim, a aplicação do método da varredura visa a correta roteirização dos veículos e dimensionamento da frota para otimização deste setor.

A aplicação deste método, aliada à ferramenta de otimização escolhida, trouxe resultados positivos e significativos, podendo ser aplicado para o planejamento das rotas no transporte dos produtos da outra categoria (transporte

refrigerado, como, por exemplo, diversas frutas) ou mesmo em situações futuras para otimização de novas carteiras de clientes. Ainda, pode-se aplicá-lo na logística de transporte de outros setores, visto sua aplicação rápida e objetiva, a agilidade proporcionada para as tomadas de decisão e seu baixo custo para aplicação, onde não é necessária a aquisição de softwares para sua realização já que existem outros softwares de código aberto que também disponibilizam a ferramenta.

A utilização da ferramenta Solver®, do software Microsoft Excel®, se mostrou muito eficaz na definição do trajeto de cada rota designada. À princípio, por possuir muitos clientes em cada rota, a quantidade de restrições a serem tratadas parecia um empecilho para sua utilização, porém, uma vez definidas as variáveis e suas restrições para um problema, bastava-se alterar a tabela com os valores das distâncias relativas para que o modelo pudesse ser utilizado novamente em outro cenário. Este fator foi extremamente positivo porque, caso exista pequenas modificações na carteira de clientes, o modelo já pronto facilita o planejamento das rotas e agiliza a tomada de decisão, sendo que este pode ser ampliado caso necessário.

A redução na quantidade de veículos alcançada trouxe ganhos para a empresa não abordados diretamente na pesquisa, como uma diminuição nos gastos com impostos e levantamento de fundos para investimento em outras áreas, caso este não seja designado para outra rota e seja vendido, ou maior robustez ao processo logístico da empresa, que, como citado, está em crescimento acelerado nos últimos meses e possuirá capacidade para atender novos clientes sem a necessidade de mais investimentos. Cabe à empresa avaliar seu prospecto para os próximos meses e definir seu planejamento de médio prazo. Todavia, com a realização deste estudo, foi possível proporcionar novas possibilidades também ao planejamento estratégico.

Logo, é possível afirmar que o presente trabalho conseguiu atingir seu objetivo e proporcionou uma solução para o problema de roteirização da empresa, consequentemente reduzindo os custos com transporte de mercadorias. Vale ressaltar que, até a finalização da pesquisa, a empresa não apresentou qualquer queda no rendimento ou crescimento nas reclamações por parte dos clientes, o que aponta que a otimização das rotas não causou uma queda no nível de serviço

prestado pela empresa. Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se conduzir uma pesquisa de satisfação do cliente após a realização deste estudo para buscar quantificar o impacto dessas melhorias na visão e satisfação dos mesmos com a empresa e determinar se houve também uma melhora no nível de serviço prestado.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, C. F.; MACEDO, E. R.; SOARES A. M.; SOUZA, F. D. J. Estudo de roteirização de veículos: aplicação da técnica de varredura em uma indústria de artigos do sono. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 35., 2015. [Anais...]. Fortaleza, out. 2015.
- AMARAL, D. B. M.; SOUZA, A. W.; OI, R. K.; CARNEIRO, J. B.; SANTOS, R. M. Estudo de roteirização de veículos com aplicação da técnica de varredura para cargas fracionadas. *In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA*, 11., 2014. [Anais...], out. 2014.
- 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, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132006000300007>
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- BRAGA, I. P. C.; TEIXEIRA, M. S.; DANTAS, H. F. B.; OLIVEIRA, M. S. B. Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) em uma empresa do ramo salineiro do RN. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 35., 2015. [Anais...]. Fortaleza, out. 2015.
- CHRISTOPHER, M. 2011. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- FARIA, A. C.; COSTA, M. F. G. **Gestão de custos logísticos**. São Paulo: Atlas, 2005.
- FOSCACHES, C. A. L.; SPROESSER, R. L.; QUEVEDO-SILVA, F.; LIMA-FILHO, D. O. Logística de Frutas, Legumes e Verduras: um estudo sobre embalagem, armazenagem e transporte em pequenas cidades brasileiras. **Revista Informações Econômicas**, v. 42, n. 2, mar./abr. 2012.
- FRANCO, J. J. **A perecibilidade como fator crítico na logística de distribuição de alimentos**. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/a-perecibilidade-como-fator-critico-na-logistica-de-distribuicao-de-alimentos/59049/>. Acesso em: 21 maio 2018.
- JUNIOR, C. A. M.; NUNES, R. V.; ASSIS, C. W. C.; FONSECA, R. C.; ADRIANO, N. A.; SANTOS, G. P. O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará. *In: CONGRESSO*

BRASILEIRO DE CUSTOS, 20., 2013. [Anais...]. Uberlândia, nov. 2013.

<https://doi.org/10.47179/abcustos.v9i3.284>

JUNIOR, J. C. C.; ANDRADE, G. A.; SILVA, R. S. G. Processo de entrada e roteirização de pedidos: um estudo de caso em uma empresa atacadista da cidade de Uberlândia - MG. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 35., 2015. [Anais...]. Fortaleza, out. 2015.

LAPORTE, G. What you should know about the vehicle routing problem. **Naval Research Logistics**, v. 54, 2007. <https://doi.org/10.1002/nav.20261>

LINS, J. H. T.; OLIVEIRA, A. L.; VIANA, H.J.; LIMA, A. R. S.; FELIX, E. S. **Logística de hortifrúteis** - um estudo de caso sobre a cadeia de suprimentos de frutas, legumes e verduras em uma filial de atacarejo da cidade de Juazeiro do Norte - CE. *In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS*, Ponta Grossa, jun. 2017.

LUNA, M. M. M.; BELLOMUSTO, M. P.; MONHO, M. C. B. Problema de roteirização em empresa do setor alimentício: uma aplicação do Método de Clarke e Wright. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 35., 2015. [Anais...]. Fortaleza, out. 2015.

MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B.; XAVIER, A. F.; CAMPOS, D. F. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Produção**, v. 22, n. 1, p. 1-13, jan./fev. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000056>

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

PEREIRA, L. S. S.; DUARTE, R. B.; FIRMINO, C. R. S.; IRINEU, A. B. M.; COSTA, J. R. A. A. Otimização de rota na distribuição de produtos em uma empresa de produtos de beleza. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 35., 2015. [Anais...]. Fortaleza, out. 2015.

PICCIRILLO, I. N.; CHIROLI, D. M. G.; MELLO, L. T. C. Roteirização com o método da varredura: uma proposta para melhorar a formatação de cargas, reduzir custos e satisfazer cliente. **Revista Espacios**, v. 37, n. 4., p. 18, 2016

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas. 2009.

SOUZA, A. W.; AMARAL, D. B. M.; OI, R.; CARNEIRO, J. B.; SANTOS, R. M. Aplicação da técnica de varredura no replanejamento da malha de transporte: um estudo de caso em uma empresa de transporte e distribuição de cargas fracionadas. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 35., 2015. [Anais...]. Fortaleza, out. 2015.

<https://doi.org/10.5585/exactaep.v14n1.6074>

SOUZA, A. W.; AMARAL, D. B. M.; OI, R. K.; CARNEIRO, J. B.; NETO, J. F. Aplicação do método de varredura na roteirização de frota em uma empresa de transporte e distribuição de cargas fracionadas. **Exacta**, v. 14, n.1, 2016.

<https://doi.org/10.5585/exactaep.v14n1.6074>

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

VIANA, F. F. C. L.; SANTOS, T. N. C.; ALMEIDA, F. M. C.; LIMA, E. V. Planejamento de suprimentos em um hortifrúti: um caso de diagnóstico de perdas e gestão da demanda. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 36., 2016. [Anais...]. João Pessoa, out. 2016.



Artigo recebido em: 09/03/2021 e aceito para publicação em: 06/12/2021

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i4.4248>