



PROPOSTA DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM JANELAS DE TEMPO

VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS: PERFORMANCE INDICATORS FOR ROUTING PLANS

Recebido em: 23 jan. 2020

Aprovado em: 18 out. 2020

Versão do autor aceita publicada online: 18 out. 2020

Publicado online: 19 maio 2021

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA):

Gonçalves, M. J. S., Silveira, L. B., Nunes, D. R. de L., Melo, A. C. S., Cruz, J. P. G., & Monteiro, N. J. (2022, abr./jun.). Proposta de indicadores de desempenho para o problema de roteirização de veículos com janelas de tempo. *Exacta*, 20(2), 423-443.
<https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.16430>.

Submeta seu artigo para este periódico 



Dados Crossmark



PROPOSTA DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM JANELAS DE TEMPO

VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS: PERFORMANCE INDICATORS FOR ROUTING PLANS

 Mara Juliana Sena Gonçalves¹

 Larissa Barata da Silveira²

 Denilson Ricardo de Lucena Nunes³

 André Cristiano Silva Melo⁴

 José Pedro Gomes da Cruz⁵

 Nathália Jucá Monteiro⁶

¹ Engenheira de Produção
Universidade do estado do Pará – UEPA.
Castanhal, Pará – Brasil.
julianasena.g@gmail.com

² Engenheira de Produção
Universidade do estado do Pará – UEPA.
Castanhal, Pará – Brasil.
lakalari12@gmail.com

³ Doutor em Engenharia de Produção
Universidade do estado do Pará – UEPA.
Castanhal, Pará – Brasil.
denilson.nunes@uepa.br

⁴ Doutor em Engenharia de Produção
Universidade do estado do Pará – UEPA.
Belém, Pará – Brasil.
acsmelo@uepa.br

⁵ Engenheiro de Produção
Universidade do estado do Pará – UEPA.
Castanhal, Pará – Brasil.
jose-pedro@hotmail.com

⁶ Mestra em Engenharia de Produção
Universidade do estado do Pará – UEPA.
Marabá, Pará – Brasil.
nathalia.monteiro@uepa.br

Recebido em: 23 jan. 2020

Aprovado em: 18 out. 2020

Resumo: Na literatura encontram-se muitos métodos para resolver problemas de roteirização de veículos. Tais métodos buscam otimizar um parâmetro específico, como a distância total percorrida ou o tempo de processamento computacional. Porém observa-se que alguns métodos apresentam ou ressaltam a importância de buscar resultados em outros parâmetros, como número de veículos no plano de rotas. Deste modo, o presente estudo objetivou utilizar os referidos indicadores para comparar planos de rotas gerados por três algoritmos bem conhecidos. Para tanto, em primeiro lugar foi necessário buscar na avaliação de desempenho logístico quais indicadores poderiam ser usados nessa comparação para posterior realização de testes nas instâncias usadas por Solomon (1987). Assim, foram propostos 7 indicadores que não apresentaram correlação, ou seja, não houve evidência de relação de “trade on” ou “trade off” entre os indicadores. Além disso, dos métodos testados, a inserção apresentou de forma geral o melhor desempenho segundo os indicadores propostos.

Palavras-Chave: Problemas de roteirização. Otimização. Avaliação de desempenho logístico.

Abstract: In the literature there are many methods to solve vehicle routing problems. Such methods seek to optimize a specific parameter, such as the total distance traveled or the computational processing time. However, it is observed that some methods present or emphasize the importance of seeking results in other parameters, such as the number of vehicles in the route plan. Thus, the present study aimed to use these indicators to compare route plans generated by three well-known algorithms. For that, firstly, it was necessary to look for in the evaluation of logistical performance which indicators could be used in this comparison for later carrying out tests in the instances used by Solomon (1987). Thus, 7 indicators were proposed that showed no correlation, that is, there was no evidence of a “trade on” or “trade off” relationship between the indicators. In addition, of the methods tested, the insertion generally presented the best performance according to the proposed indicators.

Keywords: Routing problems. Optimize. Logistics performance evaluation.



1 Introdução

A definição do plano de rotas para veículos consiste em um importante problema na gestão da cadeia de suprimentos, pois o plano de rotas define quais veículos farão determinadas entregas (paradas programadas) e os trajetos a serem percorridos.

Segundo Ballou (2006), a gestão de cadeia de suprimentos se vê constantemente com o problema de altos custos logísticos, observados principalmente pelo transporte de pessoas e mercadorias, em especial no ambiente do modal rodoviário. Visando a gestão eficiente dos impactos provocados pelo plano de rotas, muitos autores se dedicaram à solução do problema de roteirização de veículos, como o problema com janelas de tempo, (VRPTW - *Vehicle Routing Problem with Times Windows*), que segundo Matos Junior *et al.* (2014) e Ge *et al.* (2020), possibilita um melhor planejamento de rotas, a partir de parâmetros importantes de decisão, como número de veículos, quilometragem rodada, consumo de combustível, gasto de manutenção, dentre outros. Entretanto, com a demanda do mercado aumentando, torna-se cada vez mais difícil realizar a roteirização manualmente, pois conforme Alho e Silva (2014), na medida em que uma demanda aumenta, a possibilidade de erro também acompanha esse crescimento, acarretando custos logísticos mais altos, o que nenhum gestor deseja.

Por este e outros motivos a literatura apresenta diversos algoritmos (ou métodos) computacionais, cada um seguindo suas próprias linhas de raciocínio e critérios de decisão (objetivos). Esse é o caso dos algoritmos abordados neste estudo: vizinho mais próximo (*Nearest-Neighbor*), algoritmo de economias (*Savings Heuristics*) e heurística de inserção (*insertion heuristic*), que são métodos para a solução do VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*), sugeridos por Solomon (1987) a partir da adaptação de suas versões originais. Embora autores como Chen *et al.* (2019), Mohammed *et al.* (2017) e Ombuki *et al.* (2006) descrevem algoritmos mais sofisticados para resolver situações específicas, este trabalho utiliza das heurísticas de Solomon (1987) devido a simplicidade de implementação computacional e devido o objetivo do trabalho ser de validar indicadores logísticos para avaliar planos de rotas no problema VRPTW. O objetivo do trabalho se deve ao fato de, como afirma Silva Júnior (2013) e Ge *et al.* (2020), a existência dos mais diversos métodos possibilita a obtenção de resultados que minimizem a utilização de recursos específicos dentro da cadeia de suprimentos, como a quantidade de veículos utilizada ou mesmo a distância total percorrida, todavia, o mesmo pode gerar uma rota com menor agilidade de atendimento. Logo, o principal agravante é que o gestor deve escolher uma heurística que gere bons resultados nas dimensões logísticas em relação aos critérios importantes para sua empresa, sem perder, ou tendo noção do tamanho da perda de desempenho em relação aos demais modelos que existirem disponíveis.

Para avaliar qual heurísticas é a mais satisfatória, os gestores costumam utilizar parâmetros que atendam aos seus objetivos, como a redução de custos e de tempos de rota, porém por vezes tais parâmetros não são genéricos o bastante para serem reaplicados em outras empresas e nem mesmo para definir quais métodos levam a resultados realmente efetivos.

Diante disso, este trabalho busca atender a necessidade de identificar parâmetros que podem ser utilizados para uma melhor comparação de desempenho de planos de rotas, para então, utilizá-los para avaliar diferentes planos, gerados a partir dos métodos mais comuns de roteirização de veículos e assim verificar que modelos possuem melhores resultados em cada dimensão logística e, quando não são os melhores, o quão pior costuma ser em relação aos demais.

Para tanto, este trabalho buscou na literatura os métodos de solução para o problema de roteirização de veículos com janela de tempo e indicadores de desempenho logístico para planos de rotas mais frequentemente usados. Em seguida os métodos foram programados na linguagem de programação do *scilab* para resolverem as instâncias de Solomon e calcular e comparar o desempenho de cada plano gerado, utilizando os parâmetros identificados na Literatura.

2 Referencial teórico

Neste capítulo estão reunidos os temas que reforçam o arcabouço teórico necessário para a execução do trabalho proposto. Dessa forma, serão abordados os aspectos referentes a roteirização de veículos, passando pelas principais formas de resolução, e observando principalmente as soluções heurísticas. Tais soluções geralmente se apresentam sob a forma de algoritmos que, nos casos mais conhecidos, são de fácil entendimento e programação, esses serão também apresentados neste capítulo.

2.1 Logística e roteirização

Novaes (2007) afirma que a logística abrange desde a matéria prima até a satisfação dos clientes, sendo o processo pelo qual se pode programar, executar, gerir fluxos de produtos e serviços, juntamente com fluxo financeiro e de informações. Dessa forma, Ballou (2010) diz que a logística facilita o fluxo de materiais, os quais muitas das vezes indicam a movimentação entre instalações no meio urbano passando por diferentes modais de transporte. O planejamento dessa movimentação passa pelo planejamento de percurso e sequência de visitação de clientes para que o produto final chegue ao seu destino nas condições e tempo desejados, sendo a roteirização é a ferramenta muito usada para auxiliar esse planejamento.

A roteirização consiste em planejar a rota com a finalidade de reduzir o custo dos transportes e melhorar o serviço prestado, encontrando os melhores trajetos que um veículo possa fazer (BALLOU,



2010), isto é, a roteirização se define no processo de determinação de roteiros ou sequência de paradas, com a finalidade de visitar um grupo de pontos pré-determinados e distintos geograficamente para garantir melhor organização e gerenciamento de suas rotas com soluções eficientes para problemas complexos. Desta forma, vê-se o aprimoramento de empresas frente a apresentação de sistemas de roteirização (CUNHA,2000; ALVARENGA E NOVAES, 2011; GOCKEN; YAKTUBAY, 2019).

2.2 Estado da arte sobre o problema de roteirização de veículos com janelas de tempo

O problema de roteamento de veículos (*Vehicle Routing Problem – VRP*) pode ser definido como um problema de desenho de rotas de entrega ótimas a partir de um ou mais depósitos para um número de cidades ou consumidores geograficamente dispersos sujeito a algumas restrições (LAPORTE, 1992; BODIN et al, 1983; ZHENG, 2020).

Gendreau *et al.* (1996) e Laporte (1992) descrevem matematicamente o problema como seja $G = (V, A)$ um grafo, onde $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ é um conjunto de vértices ou cidades e $A = \{(v_i, v_j) : i \neq j, v_i, v_j \in V\}$ é um conjunto de arcos. Ainda segundo os mesmos autores, a matriz $C = (c_{ij})$ é definida em A e em alguns contextos representa o custo, distâncias ou o tempo da viagem.

O VRP consiste em desenhar um conjunto de rotas de custo mínimo, no qual cada cidade é visitada exatamente uma vez por um veículo e todas as rotas começam e terminam no depósito (LAPORTE, 1992; ZHENG, 2020).

Devido à diversidade dos problemas de roteirização de veículos, Raff (1983) analisou mais de 700 trabalhos envolvendo a roteirização e a programação de veículos, a fim de categorizar e classificar os problemas existentes, além de destacar os algoritmos e metodologias mais utilizados.

Uma das variantes do VRP é o VRPTW (Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo – *Vehicle Routing Problem with Time Windows*), definido como um problema onde um grafo conectado apresenta um conjunto de $n + 1$ nós, sendo que cada nó deve ser atendido uma única vez dentro de um intervalo específico ou uma janela de tempo. O problema ainda permite que o veículo possa chegar antes da abertura da janela de tempo, podendo esperar sem custo adicional, contudo, não é permitida a sua chegada após a última janela de tempo (BRÄYSY; GENDREAU, 2005a; YAN *et al.*, 2020).

Desrochers, Desrosiers e Solomon (1992) determinaram matematicamente o problema do VRPTW como uma rede $G = (N, A)$, onde A é o conjunto de rotas e N o conjunto de nós ou clientes. Cada arco $(i, j) \in A$ possui um custo c_{ij} e uma duração t_{ij} associados, sendo que o tempo de serviço em cada cliente i está incluído na duração do arco (i, j) . Ainda segundo os mesmos autores, o VRPTW é uma parte do conjunto G , onde existe um R que se configura como o conjunto de rotas possíveis para o problema. A formulação matemática simplificada proposta pelos autores é apresentada abaixo.

Função objetivo:

$$\text{Min} \sum_{r \in R} c_r x_r \quad (2.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r \in R} \delta_{ir} x_r = 1, i \in N \setminus \{d\} \quad (2.2)$$

$$x_r \in \{0,1\}, r \in R. \quad (2.3)$$

A equação (2.1) representa a função objetivo, na qual é minimizado o custo total das rotas, sendo que c_r representa o custo individual de cada rota e x_r representa a variável binária das rotas possíveis. A restrição (2.2) garante que todos os clientes serão visitados e a (2.3) representa a condição de existência da variável.

O VRPTW apresenta aplicações e estudos mais antigos como em Desrochers et al. (1988) e Golden e Assad (1986, 1988). Todavia, também podem ser encontradas pesquisas mais recentes sobre o tema, como Jayarathna et al. (2019) e Zhang et al. (2020) que além de estudarem o VRPTW também incluíram o problema de roteirização com veículos capacitados e o problema com múltiplos depósitos. Uma variante do VRPTW pode ser encontrada em Nasri, Metrane, Hafidi e Jamali (2020), que incluíram a incerteza no modelo, considerando tempos de viagem e de atendimento diferentes.

Bräysy e Gendreau (2005a, 2005b) destacam que o VRPTW tem métodos de resolução muito focados em heurísticas e soluções ótimas, porém as metaheurísticas também se configuram como métodos de solução eficientes para esse tipo de problema. As metaheurísticas são procedimentos de identificação de soluções boas, com base em rotas padronizadas ou a partir de heurísticas de melhoria.

2.2.1 Soluções para o problema de roteirização

Segundo Cunha (2000), problemas que envolvem a roteirização de veículos correspondem a problemas combinatórios, do tipo NP-hard, ou seja, o tempo de resolução para este tipo de problema aumenta exponencialmente conforme aumenta o valor de "N", tornando-se impossível a obtenção de soluções ótimas através de pacotes de otimização para instâncias encontradas no mundo real, trazendo o desafio da busca de novas heurísticas mais eficientes que possibilitem a sua aplicação a problemas práticos do dia-a-dia das empresas.

Pelizaro (2000) afirma que o problema pode ser resolvido por métodos heurísticos, por serem de baixa complexidade computacional e, diferentemente de um modelo exato, poder ser modelado conforme um problema real. Além disso, segundo Waters (1984), por mais que não seja exato, os métodos Heurísticos apresentam bons resultados, porque em um problema real uma solução exata não é praticada.



As heurísticas do vizinho mais próximo, heurística de inserção e heurística de Clarke e Wright foram abordadas por Solomon (1987) e são fortemente difundidas.

2.2.1.1 Algoritmo do vizinho mais próximo

Segundo Santos e Leal (2006) o algoritmo do vizinho mais próximo é um método heurístico de aplicação muito rápida e simples. Onde tudo se origina em um nó inicial. Assim, Solomon (1987) afirma que a heurística inicia cada rota encontrando o cliente não roteado "mais próximo" do armazém. Em cada iteração subsequente, a heurística procura o cliente "mais próximo" do último cliente adicionado à rota. Essa busca é realizada entre todos os clientes que podem, de maneira viável (com relação a janelas de tempo, tempo de chegada do veículo no armazém e restrições de capacidade), serem adicionados ao final da rota emergente. Uma nova rota é iniciada sempre que a pesquisa falha, a menos que não haja mais clientes para agendar.

2.2.1.2 Algoritmo de inserção

Laporte *et al.* (2000) afirma que a construção do método de inserção parte de um roteiro inicial com apenas dois pontos considerando todos os demais pontos como ainda não inclusos no roteiro, então se seleciona para inserção, no roteiro parcial sendo construído, aquele que atenda um critério.

Para Solomon (1987) após inicializar a rota atual, o método usa dois critérios, $c_1(i, u, j)$ e $c_2(i, u, j)$, a cada iteração para inserir um novo cliente na rota parcial atual, entre dois clientes adjacentes i e j na rota. Essa classe de heurística é uma generalização do vizinho mais próximo em que na medida que se permite a inserção de um cliente não roteado em qualquer local viável entre um par de clientes na rota, espera-se que o tempo de espera nos cronogramas produzidos seja significativamente menor do que o produzido pelos critérios de distância.

2.2.1.3 Clarke e Wright

Esta heurística surgiu como fator de simplicidade e flexibilidade na formulação da programação de rotas. Segundo Solomon (1987), esta heurística começa com n rotas distintas nas quais cada cliente é atendido por um veículo. Em cada iteração se une duas rotas distintas e parcialmente formadas, guiado por uma medida de redução de custos, que é dada pela seguinte fórmula:

$$Sav_{ij} = d_{i0} + d_{0j} + \mu d_{ij}, \quad \mu \geq 0 \quad (2.4)$$

Quando, $\mu = 1$, o valor de Sav_{ij} é a distância que é "economizada" com o atendimento aos clientes i e j em uma rota em vez de atendê-las individualmente, diretamente do armazém.

No processo de união de rotas, uma rota B inserida em uma Rota A é diferente de A adicionada em B, pois a distância de uma a outra pode ser diferente devido questões físicas das estradas, além disso, uma junção só pode ser validada caso haja economia de distância e, conforme o tempo de serviço e transporte esperados, permitam que todos os clientes sejam atendidos dentro de suas respectivas janelas de tempo.

2.3 Avaliação de desempenho

Holmberg (2000) resume a importância da avaliação de desempenho numa simples frase: “É importante compreender que não se pode dirigir aquilo que não se entende”.

Segundo Nauri (1998), o objetivo de sistema de medição de desempenho em organizações é estabelecer o grau de evolução ou de estagnação de seus processos, assim como da “adequação ao uso” de seus bens e serviços, fornecendo informação adequada, no momento preciso, a fim de tomar as ações preventivas e/ou corretivas que levem à conquista das metas organizacionais, para sobreviver e crescer num ambiente altamente competitivo e dinâmico, torna-se fundamental que as empresas tenham um sistema de avaliação capaz de fornecer informações essenciais para o entendimento e o aperfeiçoamento das suas atividades, sejam elas em nível estratégico, tático ou operacional.

2.3.1 Indicadores de desempenho logístico

Faria e Costa (2005) definem indicadores como a forma pela qual é mensurado o desempenho das atividades com intuito de atingir uma meta estabelecida. Através dos indicadores, é possível acompanhar o desempenho dos processos logísticos quanto à execução, custos e nível de serviço.

Segundo Wu (2007), é preciso estar constantemente atento aos indicadores para que eles sejam efetivamente utilizados pelos gerentes para tomar decisões ou interferir em processos de forma competente. Sem o uso de indicadores, não seria possível perceber problemas e a decisão da intervenção ficaria prejudicada pela falta de informação.

Para Gomes (2004), os custos que envolvem o setor de transportes podem alcançar dois terços dos custos logísticos de uma empresa. Neste sentido, a roteirização surge como ferramenta efetiva para gerir custos e melhorar desempenho operacional, possibilitando, junto dos indicadores, mensurar as atividades de distribuição, como a utilização da capacidade total de carga dos veículos, as entregas realizadas no prazo, o custo quilo por entrega e custo de distribuição. A análise dos dados gerados por esses indicadores permite o acompanhamento e gestão do desempenho das atividades de distribuição.

Segundo Melo e Ferreira Filho (2001), muitas empresas de transporte têm tentado dar maior confiabilidade, mais velocidade e flexibilidade, assim como praticar a intermodalidade em todos os seus canais de distribuição, buscando maior eficiência e pontualidade nas tarefas de entrega e/ou coleta; um



melhor aproveitamento da frota e dos motoristas; menores tempos de ciclo; menores tempos de obtenção e melhor planejamento das rotas, gerando, assim, sensíveis reduções de custos operacionais, melhoria da imagem da empresa no mercado, maior fidelidade de clientes e, em função disso, uma conquista cada vez maior de fatias de mercado. Porém, para tornar realidade todos os pontos citados, é preciso mensurar as atividades, com o intuito de averiguar se o desempenho operacional, custos, processos e nível de serviço estão adequados para propiciar os resultados esperados pelas metas e indicadores estabelecidos.

Desta forma, pode-se perceber que não existe gestão sem que seja feita a mensuração do que está sendo avaliado, e que os indicadores de desempenho logísticos, juntamente com a roteirização, atuam como elementos relevantes para a gestão do desempenho operacional, redução dos custos e melhoria do nível de serviço.

Segundo Bastos (2003), independentemente de cada abordagem assumida, uma empresa deve escolher um sistema de avaliação de desempenho compatível com a sua estrutura organizacional, que esteja de acordo com as estratégias adotadas e que consiga um comprometimento das pessoas envolvidas no processo. A seguir, pode-se observar um resumo das principais características das abordagens de alguns autores, no que tange o sistema de avaliação de desempenho logístico.

- Bowersox e Closs (2001):

- Enfoque logístico;
- Objetivos: monitoramento, controle e direcionamento;
- Medidas internas: custo, serviço ao cliente, produtividade, mensuração de ativos, qualidade;
- Medidas externas: mensuração da percepção do cliente, benchmarking das melhores práticas;
- Perspectiva integrada (eficácia).

- Ballou (2010):

- Enfoque logístico;
- Utiliza o conceito de auditoria;
- Considera que o controle é uma função primária da gestão, e a auditoria é responsável por fornecer as informações necessárias para esse controle;
- Apresenta um modelo de controle logístico, envolvendo os fatores: entradas, processamento, saídas, padrões e metas, e o monitor;
- Mostra as ações corretivas dos resultados do controle.

- Christopher (1997):
 - Enfoque logístico;
 - Objetivo: avaliar custos e desempenho no fluxo logístico;
 - Perspectiva 1: custos (termos absolutos) e benchmarking (termos relativos);
 - Custos: identificar os custos resultantes do serviço ao cliente, analisando-os por tipo de clientes, segmento e canal de distribuição;
 - Benchmarking: fundamentado no cliente, nos “melhores da classe” e em produtos e processos;
 - Prioridade para benchmarking: importância estratégica, impacto no negócio, opção de “fazer ou comprar” e disposição para mudanças.

- Rey (1999):
 - Enfoque logístico;
 - Considera que “as relações entre a política de serviço ao cliente, a política de estoques, materiais, transporte e distribuição e as políticas de armazenagem são tão intrínsecas que só podem ser explicadas através dos indicadores de desempenho apropriados”;
 - Sugere quatro categorias para indicadores de desempenho: tempo, custos, qualidade e produtividade;
 - Apresenta processos logísticos da indústria e cria uma matriz relacionando as quatro categorias com os processos;
 - Aborda a integração das atividades logísticas.

- Kaplan e Norton (1997):
 - Abordagem organizacional, não específica para a logística;
 - Desenvolvem uma estrutura de medição, avaliação e correlação de indicadores de desempenho voltada para a gestão estratégica: o Balanced Scorecard – BSC;
 - Propõem o investimento em ativos intangíveis ou invisíveis;
 - Indicadores financeiros e não financeiros;
 - BSC dividido em quatro perspectivas: financeira, do cliente, dos processos internos e do aprendizado e crescimento.

- Hijjar, Gervásio e Figueiredo (2005):
 - Enfoque logístico;
 - Evolução de pesquisa do CSCLM chega ao modelo World Class Logistics, que busca nas empresas líderes as melhores práticas logísticas;



- Modelo demonstra a competência das empresas em quatro áreas: posicionamento, integração, agilidade e mensuração;
 - Separam as medidas de desempenho (métricas) em: (1) serviço ao cliente/qualidade, (2) custos, (3) produtividade e (4) gerenciamento de ativos;
 - Perspectivas de medição: avaliação funcional ou por atividades, avaliação de processo ou de sistema e o benchmarking;
 - Propõem que o uso efetivo de um sistema de mensuração exige: (1) o suporte de um sistema de informação, (2) o uso de um sistema dinâmico de acompanhamento dos indicadores e (3) a utilização efetiva dos resultados obtidos.
- Associação ECR Brasil (1998):
 - Enfoque logístico;
 - Trata os indicadores de desempenho como um conjunto de medidas de performance;
 - Propõe alguns princípios básicos na elaboração de novas medidas: reavaliar os indicadores existentes, medir os processos, e não apenas os seus resultados, promover o trabalho em equipe;
 - Os indicadores devem formar um conjunto equilibrado e devem ser comparados externamente;
 - Outros aspectos importantes: representatividade, confiabilidade, clareza e disponibilidade de dados;
 - Define indicadores para a estratégia de reposição eficiente do ECR Brasil, para a indústria e o varejo.

3 Metodologia da pesquisa

Para Matos Junior *et al* (2013) utilizando os métodos de roteirização para o planejamento das rotas, possibilitaria o melhor uso dos recursos existentes na realização das rotas. Sabendo que para realizar essas rotas as empresas utilizam de softwares (algoritmos) para traçar rotas para o funcionamento de seu negócio, surge a seguinte questão: Que parâmetro define a melhor rota em relação aos algoritmos de roteirização? Partindo desta questão, este trabalho é motivado a buscar essas respostas.

A realização da pesquisa foi realizada em 5 etapas:

A primeira etapa consistindo em um levantamento na Literatura tanto internacional quanto nacional, onde o objetivo foi a identificação dos métodos mais utilizados para resolução do VRPTW.

Os algoritmos selecionados para o teste deste estudo, como já mencionando, foram: vizinho mais próximo, algoritmo de economias e a heurística de inserção número três propostos por Solomon (1987).

A segunda etapa buscou levantar na Literatura os indicadores que poderiam ser utilizados para comparação de rotas, todavia, foi observado que não existem um grupo de indicadores consolidados,

por isso, fez-se aqui um levantamento de indicadores logísticos e, a partir deles, foram propostos 7 indicadores resultantes deste trabalho.

A terceira etapa foi composta pela programação dos principais métodos utilizados para resolver os VRPTW, que foram apontados na primeira etapa. Para a realização desta programação foi utilizado um *software* para viabilizar a escrita dos algoritmos selecionados e a compilação dos dados, o programa *Scilab* na versão 6.0.0, 64 Bit. Tal *software* foi escolhido devido sua disponibilidade em versão gratuita, ter um interpretador de linguagem de programação de alto nível (interpretada) e, além de tudo, por ser de rápida implementação.

A quarta etapa foi firmada em uma bateria de testes computacionais, que foram realizados no *software Scilab*, com os métodos programadas na terceira etapa, com objetivo de compará-los por meio dos parâmetros encontrados na segunda etapa.

Os testes se basearam nas 168 instâncias de Solomon (1987) disponibilizadas no site NETWORKING AND EMERGING OPTIMIZATION (2013). Estas instancias, como o nome sugere, representa uma coleção de exemplos propostos que representam situações que podem ocorrer na realidade, contendo coordenadas dos clientes, suas janelas de tempo e outras informações, sendo cada exemplo contendo de 10 a 100 clientes dispostos em clusters – clientes próximos geograficamente - ou dispersos geograficamente ou de forma mistas. A intenção das instancias é que se possa testar algoritmos neles e observar se tem melhor ou pior desempenho em cada situação.

Como tanto a heurística do vizinho mais próximo, quanto a inserção dependem de três constantes que fazem a ponderação no momento de decisão de entrada de um cliente na rota. Essas constantes somadas devem ser iguais a um, e ponderam três fatores de importância: tempo (Delta 1), distância (Delta 2) e urgência (Delta 3). Com o objetivo de equiparar os métodos para análise, no planejamento do experimento foram elaborados 15 casos distintos reunidos na Tabela 1 variando-se as constantes entre 0 e 1, sendo o 1 de muita relevância para o caso e de 0 como não tão relevante para o caso, assim, o “Caso 1” representa gestor que busca eficiência no tempo em detrimento dos demais, já o “Caso 15” representa alguém que busque igualmente eficiência em atender clientes urgentes (próximo de fechar janela de tempo) gastando o menos possível com distância.



Tabela 1

Constantes de ponderação para o experimento

Deltas	Casos													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	0	0	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0	0	0,75	0,75	0,5	0,5
2	0	1	0	0,25	0,5	0,25	0,75	0	0,25	0,75	0	0,25	0,5	0
3	0	0	1	0,5	0,25	0,25	0	0,75	0,75	0,25	0,25	0	0	0,5

Fonte: Autores (2018).

A partir de todas as etapas anteriores, na quinta etapa foram avaliados e analisados os testes, realizados na quarta etapa, e fundamentada toda pesquisa apoiada nas demais etapas do estudo e nas considerações dos autores da presente obra. Levando assim, a pesquisa a contribuir efetivamente para o âmbito científico e de roteirização empresarial.

A análise dos dados foi realizada por meio de métodos estatísticos de correlação e dispersão, visando identificar se há relação de *trade off* ou *trade on* entre os resultados dos indicadores propostos na etapa 2 que cada método obteve nas soluções de a bateria de teste durante a etapa 4.

É válido ressaltar que a análise dos dados foi realizada em um primeiro momento, considerando todos os resultados obtidos em uma única planilha, independentemente do caso proposto, da quantidade de clientes, de suas janelas e da dispersão dos clientes – Clusters (C), Dispersos (R) e mistas (RC). Em seguida foi analisado os resultados dos algoritmos por cada caso. Ressaltando que as 168 instancias foram simuladas 15 vezes, uma considerando cada caso da Tabela 1.

Após a validação dos indicadores, foi analisado os métodos que possuem melhor resultados em cada indicador, para tanto, foi verificado a frequência com que cada algoritmo obteve o melhor resultado e, nos momentos em que não teve o melhor resultado, o quão pior foi em relação ao melhor, isto é, um método pode ter sido o melhor em um indicador específico em 90% das instâncias e casos, e nos 10% que não foi o melhor, esteve por exemplo 2% abaixo do melhor, o que representa que esse método é mais recomendado a um gestor que busca bons resultados neste indicador.

4 Indicadores propostos para plano de rotas

Com base no estudo de Grüdtner (2005), as categorias para os indicadores colocados por Rey (1999) podem ser descritas da seguinte forma:

- Custo: é o custo real no desenvolvimento do desempenho logístico. Nesta categoria, estão inseridos também os custos operacionais, tais como força de trabalho, locação de espaços nos escritórios, fretes, etc.;

- Produtividade: mostra o grau de utilização dos recursos disponíveis à operação para obter o resultado final.
- Qualidade: mede a capacidade da empresa em fornecer produtos ou serviços aos seus clientes, atingindo os níveis de satisfação esperados;
- Tempo: o tempo é um grande determinante do sucesso para as empresas. As empresas que colocam seus produtos mais rápido no mercado, obtêm uma vantagem competitiva, tornando a componente “tempo” cada vez mais importante para as organizações.

Desta forma, o presente estudo propõe os seguintes indicadores para plano de rotas segundo as seguintes dimensões:

- Custo:

- Custo por distância percorrida: este indicador se refere ao custo por distância total percorrida no plano de rota e como pode-se observar na Tabela 2, se dá pelo produto da estimativa da distância total percorrida por uma taxa de custo por unidade de distância, como por exemplo $\$/\text{Km}$. A taxa θ é a estimativa de custo por unidade de distância percorrida. Este valor depende da frota e outras características peculiares de cada empresa.
- Custo por tempo em trânsito: este indicador diz respeito ao custo por tempo total em trânsito por plano de rota e como nota-se na Tabela 2, este indicador é calculado pelo produto da estimativa do tempo total percorrido por uma taxa de custo por unidade de tempo, como por exemplo $\$/\text{Hora}$. A taxa δ é a estimativa de custo por unidade de tempo que o veículo apresenta quando está fora da empresa, em trânsito ou realizando uma tarefa específica.

- Produtividade:

- Número de veículos por plano de rotas: este indicador trata-se da quantidade de veículos que são utilizados em um determinado plano de rotas, visto que o conceito desta dimensão é a medida do grau de utilização dos recursos disponíveis à operação.
- Ociosidade média de tempo por veículo: a ociosidade diz respeito a disparidade de tempo do último veículo que retorna ao armazém em relação aos demais. Este indicador pode ser calculado através da diferença entre o tempo de uso dos recursos, que nesse caso são veículos e suas equipes de trabalho. Optou-se por medir a ociosidade em relação ao veículo que apresenta estimativa de maior tempo em serviço.
- Desvio de carga efetiva de atendimento: este indicador refere-se a diferença que existe entre a carga efetiva ideal de trabalho e a carga efetiva, em que a carga efetiva ideal é a média da estimativa de tempo total de atendimento nos clientes para cada veículos no plano. Já a carga



efetiva é a estimativa do tempo total de atendimento de cada veículo, que depende do tempo de atendimento estimado em cada cliente da sua rota. Quanto mais próximo de 1 este indicador estiver, maior será o balanço entre cargas de trabalho.

- Qualidade e tempo:

Nesse caso optou-se por considerar essas duas dimensões juntas, pois o tempo está diretamente relacionado com a percepção de qualidade. Se um plano de rotas mostra um tempo de entrega inferior a outro, isso pode indicar agilidade e qualidade. Os indicadores para essas dimensões são:

- Agilidade no atendimento: no contexto deste estudo, a agilidade se refere ao início do atendimento estar o mais próximo da abertura da janela de tempo. Conforme é mostrado na Tabela 2, o cálculo da agilidade no atendimento se dá pela porcentagem média do intervalo de tempo até o início do atendimento, em relação ao intervalo da abertura da janela de tempo.
- Ociosidade programada: este indicador se refere ao intervalo de tempo de espera de um veículo, quando o mesmo chega ao cliente antes da abertura da janela de tempo, em relação ao tempo total de serviço.

Na Tabela 2, as métricas são apresentadas em suas respectivas dimensões, fazendo uma breve descrição de como se calcula e mostrando as fórmulas utilizadas para obtenção das mesmas e a qual indicador ela se refere. É válido ressaltar, que na presente pesquisa, utilizou-se a notação de Solomon (1987).

Para compreensão das fórmulas segue a legenda:

L_i = Instante do fechamento da janela de tempo;

E_i = Instante de abertura da janela de tempo;

B_i = Instante efetivo do início do atendimento ao cliente;

V = Número total de veículos em um plano de rotas;

v = Número de veículos;

b_i = Instante de chegada do veículo no cliente;

$b_{o,v}$ = Instante de chegada do veículo v ao armazém;

$b_{o\ Máx}$ = Instante máximo de chegada do veículo v ao armazém;

r = Todos os clientes que pertencem à rota desse veículo v ;

θ = Estimativa de custo por unidade de distância percorrida;

δ = Estimativa de custo por unidade de tempo que o veículo apresenta quando está fora da empresa;

WI = Carga efetiva ideal;

Ωv = Conjunto de clientes pertencentes a rota do veículo v ;

$S_{\Omega, v}$ = Estimativa do tempo de atendimento de cada cliente v para uma determinada rota Ω .

Tabela 2

Métricas para plano de rotas

Métricas para plano de rotas		
Dimensões	Indicador	Modo de calcular
Custo	Custo por distância percorrida	$C_d = \theta \times \sum_{v=1}^V d_v$
	Custo por tempo em trânsito	$C_t = \delta \times \sum_{v=1}^V b_{o,v}$
Produtividade	Número de veículos por plano de rotas	V
	Ociosidade média de tempo por veículo	$b_{m\acute{a}x} = \text{m\acute{a}x} \{b_{o,v}\} / v \in [1, \dots, V]$ $O_t = \frac{1}{V} \times \left(\sum_{v=1}^V \frac{b_{o,m\acute{a}x} - b_{o,v}}{b_{m\acute{a}x}} \right)$
	Desvio de carga efetiva de atendimento	$D_w = \frac{1}{w_i} \times \sum_{v=1}^V \left w_i - \sum_{\Omega=1}^{\Omega} S_{\Omega, v} \right /$ $\Omega_v \in [1, \dots, N_v] \in [1, \dots, V]$
Qualidade e Tempo	Agilidade no atendimento	$Ag_i = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N \frac{L_i - B_i}{L_i - E_i} \times 100\%$
	Ociosidade Programada	$O_p = \sum_v \sum_{\Omega v} \frac{\text{m\acute{a}x}\{E_{\Omega v} - b_{\Omega v}, 0\}}{b_{o,v}}$

Fonte: Autores (2018).



5 Discursões dos resultados

Tendo os indicadores identificados e propostos embasados na literatura. Testes computacionais foram realizados e em seguida os resultados foram gerados e comparados apoiados em métodos estatísticos visando identificar a existência de correlação entre os indicadores estudados. Uma vez tabelados os resultados, notou-se que o resultado da correlação (ver Tabela 3) aponta que todas as variáveis são independentes, pois possuem uma relação fraca entre si, validando todas elas como parâmetros logísticos de avaliação de rotas, conforma a literatura clássica expressa anteriormente e que eles não possuem qualquer relação de *trade on* ou *trade off* entre si.

Destaca-se também que foi feita a correlação de forma individual dos 15 casos estudados, dos 3 tipos de quantidades de clientes (25, 50, 100) e dos tipos de agrupamentos (*clusters*, *mistos* e *R*) e em todos os casos a correlação se comportou da mesma forma.

Vale ressaltar que embora haja uma relação forte entre a quantidade de rotas e a carga média, como se observa na Tabela 3, seu r-quadrado é pequeno, logo as variações de cada variável, inclusive as de forte relação, variam apenas conforme as características do problema.

Tabela 3

Teste R-quadrado dos resultados resolvidos pela correlação para todos os clientes Mistos em Clusters e R

	<i>Cd</i>	<i>Ct</i>	<i>V</i>	<i>Ot</i>	<i>Dw</i>	<i>Agi</i>	<i>Op</i>
<i>Cd</i>	1,00						
<i>Ct</i>	0,00	1,00					
<i>V</i>	0,01	0,45	1,00				
<i>Ot</i>	0,00	0,07	0,13	1,00			
<i>Dw</i>	0,02	0,36	0,75	0,30	1,00		
<i>Agi</i>	0,08	0,12	0,12	0,01	0,07	1,00	
<i>Op</i>	0,01	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02	1,00

Fonte: Autores (2018).

O valor aproximado de 0,75 entre *V* e *Dw* indica uma correlação moderadamente forte, porém o r-quadrado inferior a 0,85 indica que a relação não é expressiva o bastante para comprovar qualquer relação de dependência entre variáveis. O mesmo resultado se repete quando se estuda as outras situações apresentadas.

As comparações dos resultados foram feitas medindo a quantidade de vezes que cada método obteve melhor desempenho para cada indicador, tendo o resultado disso expresso da Tabela 4.

Tabela 4

Frequência relativa com que os métodos recebem destaque

Método	Cd	Ct	V	Ot	Dw	Agi	Op
Vizinho Mais Próximo	2%	10%	25%	31%	30%	20%	69%
Economias	88%	0%	2%	12%	10%	58%	11%
Inserção	10%	89%	73%	56%	60%	22%	20%

Fonte: Autores (2018).

A Tabela 5 mostra a média do quão baixo foi o desempenho de cada algoritmo em relação ao resultado do melhor algoritmo em todos os problemas que o referido algoritmo não foi o melhor. O cálculo deste média foi feito de duas formas a citar: para os indicadores o custo com deslocamento, o custo com o tempo e a quantidade de rotas usadas, que possuem valores absolutos, foi feito a diferença do resultado do algoritmo quando não teve melhor resultado com o melhor resultado e dividido pelo melhor resultado para saber seu valor relativo do quão pior foi e, por fim, feito a média desses valores. Já os demais indicadores que já possuem valores relativos, foi subtraído o resultado do respectivo algoritmo em relação ao melhor e feito a média de todos os valores ao final.

Tabela 5

Desvio percentual médio em relação ao melhor resultado

Método	Cd	Ct	V	Ot	Dw	Agi	Op
Vizinho Mais Próximo	82%	616%	222%	13%	139%	1893%	58%
Economias	2%	991%	417%	15%	173%	207%	468%
Inserção	80%	3%	9%	9%	73%	2411%	2455%

Fonte: Autores (2018).

Conforme analisado nas Tabelas 4 e 5, embasando-se no estudo, percebe-se que o método vizinho mais próximo teve destaque apenas na ociosidade programada, correspondendo a 69% dos casos com melhores resultados. No entanto, quando o vizinho mais próximo não é o melhor resultado, ele apresenta um desvio médio de 58% em relação ao melhor resultado, os demais métodos apresentam desvios piores, com o método de economias podendo chegar a 468% maior que o melhor valor e as inserções têm em média 2455%, indicando a superioridade no vizinho mais próximo neste indicador.

O método das economias, por sua vez, teve destaque no custo de distância total percorrida e na agilidade, sendo que teve melhor destaque nos casos em 88% e em 58% respectivamente. Quanto aos desvios, nos 12% dos problemas em que as economias não tiveram o melhor resultado, houve um desvio médio de 2% em relação ao melhor.



Sendo assim, esse seria um bom método para quem tem preocupação em reduzir as distâncias percorridas por seus veículos, o método do vizinho mais próximo e de inserções tiveram 82% e 80% de desvio, respectivamente, nos casos em que foram ruins.

Em contrapartida, o método de inserção teve os melhores resultados em 4 dos indicadores propostos, representando 89% dos casos em custo total, 73% em quantidade de rotas, 56% em ociosidade média e 60% em carga média, sendo que os desvios em relação ao melhor resultado, se pautaram em 3% para o custo total, 9% em quantidade de rotas, 9% ociosidade média e 73% em carga média, que apesar de ser alto o desvio foi o menor encontrado quando comparado com os demais métodos.

6 Conclusão

A presente pesquisa propôs sete indicadores de desempenhos, que estão interligados à quatro dimensões, que são: custo, produtividade, qualidade e tempo. Tais indicadores foram propostos com base na revisão da Literatura, para contribuir cientificamente em Problemas de Roteirização com Janelas de Tempo – VRPTW. Para isso, foi necessário um estudo dos principais métodos existentes de solução para problemas de roteirização de veículos. Devido à complexibilidade em resolver estes problemas, optou-se por utilizar métodos heurísticos. Os métodos heurísticos utilizados foram a heurística do vizinho mais próximo, de economias e de inserção. O programa utilizado para executar os algoritmos foi o *Scilab* e a compilação dos dados possibilitou a análise, sendo possível verificar a relação de trade off entre os indicadores.

Os indicadores abordados possuem independência entre si, independentemente das características do problema.

É válido ressaltar também, que dos três métodos testados, a inserção apresentou, de forma geral, o melhor desempenho segundo os indicadores propostos, pois mostrou ser melhor em relação aos demais métodos em 89% dos casos em custo total, 73% em quantidade de rotas, 56% em ociosidade média e 60% em carga média, sendo que os desvios em relação ao melhor resultado, se pautaram em 3% para o custo total, 9% em quantidade de rotas, 9% ociosidade média e 73% em carga média.

Para sugestões de trabalhos futuros, destaca-se o estudo para aprimoramento da presente pesquisa para propor um novo modelo heurístico para solução de problemas de VRPTW, que incluam os indicadores de desempenho que aqui foram propostos.

Devido os problemas de roteirização se tratar de problemas complexos, os autores, na maioria dos estudos, utilizam métodos heurísticos construtivos e objetivando a melhora desses resultados são implantadas as metaheurísticas. Logo, sugere-se também a aplicação de uma metaheurística para

solucionar roteirizações que envolvam rotas com grande número de clientes, visto que é possível obter melhores soluções do que com o método de economias de Clark and Wright.

Referências

- Alho, A., & Silva, J. A. (2014). Freight-trip generation model: predicting urban freight weekly parking demand from retail establishment characteristics. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2411, 45-54. <https://doi.org/10.3141/2411-06>
- Alvarenga, A. C., & Novaes, A. G. N. (2011). *Logística aplicada: Suprimento e distribuição física* (3a Ed.). São Paulo: Blucher.
- ECR Brasil (1998). ECR Brasil visão geral: potencial de redução de custos e otimização de processos. (Coleção ECR Brasil). São Paulo: Associação ECR Brasil.
- Ballou, R. H. (2006). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial*. São Paulo: Bookman.
- Ballou, R. H. (2010). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/ logística* (5a ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Bastos, I. D. (2003). *Avaliação do desempenho logístico do serviço de transporte rodoviário de cargas: um estudo de caso no setor de revestimentos cerâmicos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Bodin, L.D., Gonden, B., ASSAD, A., & BALL, M. (1983). Routing and scheduling of the vehicles and crews: The state of the art. *Computers and Operations Research*, 10(1), Pages 63-212. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(83\)90030-8](https://doi.org/10.1016/0305-0548(83)90030-8)
- Bowersox, D., & Closs, D. (2001). *Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento*. São Paulo: Atlas.
- Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005a). Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part I: route construction and local search algorithms. *Transportation Science*, 39(1), 104-118. <http://dx.doi.org/10.1287/trsc.1030.0056>
- Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005b). Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II: metaheuristics. *Transportation Science*, 39(1), 119-139. <http://dx.doi.org/10.1287/trsc.1030.0057>
- Chen, R. M., Shen, Y. M., & Hong, W.Z. (2019). Neural-Like Encoding Particle Swarm Optimization for Periodic Vehicle Routing Problems. *Expert Systems with Applications*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112833>
- Christopher, M. (1997). *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços*. São Paulo: Pioneira.
- Da Cunha, C. B. (2000). Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. *Transportes*, 8(2). <https://doi.org/10.14295/transportes.v8i2.188>



- Da Silva Júnior, Orivalde Soares. (2013). Roteirização Estática e Dinâmica de Veículos com Janelas de Tempo. Tese de Doutorado. PUC-Rio.
- Desrochers, M., Lenstra, J., Savelsbergh, M., & Soumis, F. (1988). Vehicle routing with time windows: Optimization and approximation. *Veh Rout Methods Stud*, 16, 65 – 84.
- Faria, A. C., & Costa, M. F. G. (2005). *Gestão de custos logísticos*. São Paulo, Atlas.
- Ge, X.; Ge, X.; Wang, W. (2020). A Path-Based Selection Solution Approach for the Low Carbon Vehicle Routing Problem with a Time-Window Constraint. *Applied sciences*, 10, 1-13.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Séguin, R. (1996). Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 88(1), 3-12. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00050-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00050-X)
- Gocken, T., Yaktubay (2019). Comparason of different clustering algorithms via genetic algorithm for VRPTW, *Comparison of Different Clustering Algorithms via Genetic Algorithm for VRPTW. International Journal of Simulation Modelling*, 18, 574-585.
[https://doi.org/10.2507/IJSIMM18\(4\)485](https://doi.org/10.2507/IJSIMM18(4)485)
- Gomes, C. F. S. (2004). *Gestão da cadeia de suprimento integrada: Tecnologia da Informação*. São Paulo: Cengage Learning.
- Golden, B. L., & Assad, A. A. (1986). Perspectives on vehicle routing: Exciting new developments. *Oper. Res.*, 34(5), 803–809.
- Golden, B. L., & Assad, A. A. (1988). *Vehicle Routing: Methods and Studies*. Amsterdam, Elsevier Science Publishers.
- Grüdtner, I. S. (2005). Modelo de avaliação do desempenho logístico de operadores logísticos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Hijjar, M. F., Gervásio, M. H., & Figueiredo, K. F. (2005). Mensuração de desempenho logístico e o modelo World Class Logistics – Parte 1 e 2. Disponível em:
http://www.cel.coppead.ufrj.br/new/fs_pesquisa.html
- Holmberg, S. (2000). A systems perspective on supply chain measurements. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(10), 847-868.
<https://doi.org/10.1108/09600030010351246>
- Jayarathna, D. G. N. D., Lanel, G. H. J., & Juman Z.A.M.S. (2019). A Contemporary Recapitulation of Major Findings on Vehicle Routing Problems: models and methodologies. *International Journal Of Recent Technology And Engineering*, 8(24), 581-585.
<http://dx.doi.org/10.35940/ijrte.b1115.0782s419>
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1997). *A estratégia em ação: balanced scorecard*. Rio de Janeiro: Campus.
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(3), 345-358.
[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90192-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90192-C)

- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin J.Y., & Semet, E. F. (2000). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem, *International Transactions in Operational Research*, 7(4), 285-300. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2000.tb00200.x>
- MATOS JUNIOR, C. A. A., Nunes, R. V., Assis, C. W. C., Fonseca, R. C., Adriano, N. A., & Santos, G. S. (2014). Contribuição da Roteirização na Redução de Custos Logísticos e Melhoria do Nível de Serviços em Empresa do Segmento Alimentício no Ceará. *ABCustos*, 9(3).
- MATOS JUNIOR, C. A., Nunes, R. V., Assis, C. W. C., Fonseca, R. C., Adriano, N. A., & Santos, G. S. (2013). O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC.
- Melo, A.C.S., & Ferreira Filho, V.J.M. (2001). Sistemas de roteirização e programação de veículos. *Pesquisa Operacional*. 21(2), Rio de Janeiro. <https://doi.org/10.1590/S0101-74382001000200007>
- Mohammed, M. A., Ghani, M. K. A., Hamed, R. I., Mostafa, S. A., Ibrahim, D. A., Jameel, H. K., & Alallah, A. H. (2017). Solving vehicle routing problem by using improved K-nearest neighbor algorithm for best solution. *Journal of Computational Science*, 21, 232–240. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.jocs.2017.04.012>
- Nasri, M., Metrane, A., Hafidi, I., & Jamali, A. (2020). A robust approach for solving a vehicle routing problem with time windows with uncertain service and travel times. *International Journal Of Industrial Engineering Computations*, 1-16, 2020. Growing Science. <http://dx.doi.org/10.5267/j.ijiec.2019.7.002>
- Ñauri, M. H. (1998). As medidas de desempenho como base para a melhoria contínua de processos: o caso da Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária (FAPEU). Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Networking And Emerging Optimization. Capacitated VRP with Time Windows Instances. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://neo.lcc.uma.es/vrp/vrp-instances/capacitated-vrp-with-time-windows-instances/>
- Novaes, A. G. (2007). *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Pelizaro, C. (2000). Avaliação de desempenho do algoritmo de um programa comercial para roteirização de veículos. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Ombuki, B., Ross, B.J. & Hanshar, F. (2006). Multi-Objective Genetic Algorithms for Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Appl Intell*, 24, 17–30. <https://doi.org/10.1007/s10489-006-6926-z>
- Raff, S. (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews. *Computers & Operations Research*, 10(2), 63-211. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(83\)90030-8](https://doi.org/10.1016/0305-0548(83)90030-8)
- Reina, C. D. (2012). Roteirização de veículos com janelas de tempo utilizando algoritmo genético. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Transporte (EPUSP), São Paulo.
- Rey, M. F. (1999). *Indicadores de desempenho logístico*. Revista Logmam, São Paulo.



Santos, F. L., & Leal, J. E. (2006). Uma Aplicação de Algoritmos de Colônias de Formigas em Problemas de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*, 35(2), 254-265.
<https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>

Waters, C. D. J. (1984). Vehicle Scheduling Revisited. *The Journal of the Operational Research Society*, 35(2), 145-148. <https://doi.org/10.1057/jors.1984.22>

Wu, L. (2007). O Problema de Roteirização Periódica de Veículos, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo.

Yan, L., Grifoll, M., & Zheng, P. (2020). Model and algorithm of two-stage distribution location routing with hard time window for city cold-chain logistics. *Applied sciences*, 10(7), p. 1-16.
<http://dx.doi.org/10.3390/app10072564>

Zhang, C., Zhao, Y., & Leng, L. (2020). A Hyper-Heuristic Algorithm for Time-Dependent Green Location Routing Problem With Time Windows, *IEEE Access*, 8(1), 83092-83104.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991411>

Zheng, J. (2020). A Vehicle Routing Problem Model With Multiple Fuzzy Windows Based on Time-Varying Traffic Flow. *IEEE Access*, 8(1), 39439-39444.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2974774>