

PLANEJAMENTO DE ROTAS ÓTIMAS COM ALGORITMOS GENÉTICOS: UMA SOLUÇÃO PARA A OTIMIZAÇÃO DE TRANSPORTE

Matheus Costa Pereira^a, Anderson Paulo de Paiva^a, Vinícius Antônio Montgomery de Miranda^a, Pedro José Papandréa^{†b}

^a Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá – MG

^b Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL, Itajubá – MG

RESUMO

O transporte de cargas por estradas é responsável por movimentar uma grande quantidade de mercadorias no Brasil, o que impõe a necessidade de tomar decisões acertadas nesse setor. Nesse contexto, um estudo foi realizado para abordar o Problema do Transporte e aplicar a Pesquisa Operacional (PO) com o objetivo de otimizar as rotas, com vistas a maximizar os lucros e minimizar as despesas, a distância percorrida e o tempo de viagem. O artigo descreve as etapas desse estudo, desde a apresentação do problema e o desenvolvimento de um software até a análise de um caso de roteirização utilizando algoritmos genéticos. O roteirizador é uma ferramenta fundamental para otimizar as rotas de transporte, pois busca encontrar a sequência mais eficiente de pontos. Ele foi criado e programado utilizando o Virtual Basic for Applications (VBA) e integrou-se ao My Maps para exibir mapas reais, com a finalidade de oferecer uma contribuição efetiva às empresas.

PALAVRAS-CHAVE:

Roteirização;
Otimização;
Algoritmos genéticos.

INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário desempenha um papel predominante no Brasil em comparação com outros modais de transporte. Segundo a CNT (2021) mais de 60% do volume de cargas é transportado por meio das rodovias. A escolha pelas rodovias permite uma flexibilidade na combinação de produtos transportados e na seleção de veículos que levam as cargas aos seus destinos.

Nesse contexto, para que as decisões sejam mais assertivas, diversos fatores devem ser considerados, como o volume de carga transportada, a distância percorrida e o tempo de rota. Esses fatores são comumente denominados variáveis de decisão. Além disso, os sistemas de transporte também apresentam limitações, que podem estar relacionadas a fatores de produção, logística empresarial, demanda e oferta de produtos. Essas limitações são conhecidas como restrições.

Por outro lado, para Hillier e Lieberman (2013), a Pesquisa Operacional (PO) é aplicada a problemas que envolvem a condução e a coordenação de operações de uma organização. Dessa forma, sua aplicação a problemas complexos e reais, como é o caso daqueles de logística, é fundamental para otimizar decisões e alcançar soluções eficazes, ao se considerar as variáveis de decisão e a função objetivo.

Portanto, a aplicação da pesquisa operacional auxilia no processo de tomada de decisão e permite obter melhores resultados por meio de formulações matemáticas, como a maximização de lucros, a otimização da produção ou da carga transportada, ou ainda a minimização de despesas financeiras, distâncias percorridas ou desperdícios.

Hillier e Lieberman (2013) resumem as etapas de estudo de um problema de PO da seguinte forma:

- Definir o problema de interesse e coletar dados relevantes.
- Formular um modelo matemático que represente o problema.
- Desenvolver um procedimento computacional para derivar soluções a partir do modelo.
- Testar e aprimorar o modelo conforme necessário.
- Preparar-se para a aplicação contínua do modelo conforme orientações da gerência.
- Implementar o modelo.

O Problema de Transporte é uma área de estudo amplamente explorada no campo da pesquisa operacional, com aplicações práticas em diversos setores da economia. Trata-se de um problema fundamental que envolve a alocação e o transporte de recursos de forma eficiente, visando atender às demandas de diferentes pontos de origem e destino.

No contexto atual, em que a logística desempenha um papel crucial nas operações empresariais, a otimização do transporte de mercadorias se torna um desafio essencial para garantir a competitividade e a lucratividade das organizações. Nesse sentido, o problema de transporte envolve decisões relacionadas à alocação de recursos, planejamento de rotas e minimização de custos operacionais, que são significativos para o resultado organizacional.

Em relação à complexidade das demandas organizacionais, a resolução de problemas não lineares é essencial para lidar com situações em que a função objetivo e/ou as restrições apresentam não-linearidades. Um exemplo disso é a determinação da distância entre dois pontos A e B em um plano cartesiano, que é formulada por meio de uma equação não linear denominada distância euclidiana, o que caracteriza um problema não linear.

Na pesquisa operacional, o transporte e distribuição de produtos entre origens e destinos está relacionado aos desafios enfrentados nos problemas de roteamento e agendamento. Esses problemas podem ser classificados de acordo com a forma como os veículos interagem com as cargas:

- One-to-many ou few-to-many: envolve um ou poucos depósitos de origem e muitos destinos.
- Many-to-one ou many-to-few: abrange vários depósitos de origem e um ou poucos destinos.
- Many-to-many: engloba vários depósitos de origem e vários destinos.

Nesse artigo, o foco será a apresentação do roteirizador, desenvolvido no contexto do Problema do Transporte, com o objetivo de demonstrar sua funcionalidade e o seu desempenho mediante ao processo de otimização das rotas. Ele foi desenvolvido com o uso de uma programação feita com o Virtual Basic for Applications (VBA) software Microsoft Office Excel ® e integrado ao My Maps da Google ® para a geração de mapas.

Como exemplo prático na aplicação do roteirizador desenvolvido, será apresentado um estudo de caso envolvendo uma empresa fabricante de sorvetes localizada em Minas Gerais, pois a empresa enfrenta desafios logísticos na distribuição de seus produtos em cidades da região.

Essa problemática é semelhante aos casos de roteamento, agendamento e, principalmente, ao pick-up and delivery, em que, visa-se obter combinações de variáveis que proporcionem melhores soluções. No contexto do pick-up and delivery, são consideradas as rotas em que o transporte está condicionado à origem, destino e tamanho da carga. O problema tratado é one-to-many, com o objetivo de transporte ótimo, tal como descrito por Seguy et al. (2017) e a solução de um problema one-to-many pode ser alcançada através da utilização de uma abordagem de aproximação contínua (CLARENS e HURDLE, 1975).

MATERIAIS E MÉTODOS

Fundamentação teórica

A área de pesquisa operacional é responsável por desenvolver modelos matemáticos para direcionar e coordenar operações em organizações. Taha (1998) enfatiza que a pesquisa operacional tem como propósito solucionar problemas de natureza complexa, abrangendo sua aplicação na gestão e tomada de decisões, com o intuito de converter problemas reais em modelos matemáticos.

No âmbito da aplicação de pesquisa operacional, o processo inicia-se com a observação e formulação do problema, que engloba a obtenção de dados significativos para os problemas (HILLIER e LIEBERMAN, 2006). Estes autores ainda afirmam que a pesquisa operacional requer a definição dos objetivos, a identificação das restrições e alternativas de decisão, bem como a

descrição das limitações para obter soluções válidas, que possui o objetivo de maximizar lucros ou minimizar custos. Contudo, é importante destacar que o setor da logística não é tratado como deve nas empresas, o que gera uma falta de atenção adequada em relação a diversas atividades, como por exemplo, em relação a quantificação e definição de serviços para clientes e transportadora, tal como a integração de elementos em uma cadeia logística. Ressalta-se a escassez de profissionais que possuem habilidades de planejamento, execução e análise de todas as atividades logísticas (CHING, 2000).

A logística integrada é dada pela integração de diversas áreas da logística que evoluíram durante os anos. Diante disso, a busca pela redução de custos gera a exigência de agilidade em um ambiente competitivo e em expansão, além de exigir produtividade e qualidade no serviço prestado (CHING, 2000).

Por outro lado, experimentos que buscam testar diversos métodos de otimização, devido à sua descrição e compreensão simples, apesar da alta complexidade de resolução, são dados pelo problema do Caixeiro Viajante (PCV), descrito por Karp (1975). O PCV recebe este nome por ser o problema de um vendedor que viaja por inúmeras cidades durante sua jornada e busca encontrar a rota mais curta para visitar cada uma das cidades apenas uma vez antes de retornar à cidade de origem (HILLIER e LIEBERMAN, 2013).

Junger, Reinelt e Rinaldi (1995) trazem aspectos algorítmicos e computacionais, fundamentos teóricos e busca de soluções práticas para o PCV. O algoritmo branch-and-bound é amplamente utilizado na resolução do PCV pela sua capacidade de explorar eficientemente o espaço de busca. Esse algoritmo se baseia na geração de planos de cortes ao longo da árvore de busca (MERZ, 2000).

Diante disso, busca-se resolver problemas de roteirização que se referem a uma classe de desafios nos quais o objetivo é encontrar rotas otimizadas para um conjunto de veículos que realizam entregas, coletas, visitas ou deslocamentos em um espaço geográfico. A principal meta consiste em encontrar a melhor combinação de trajetos que maximize a eficiência operacional, minimize os custos e atenda às demandas solicitadas. Os problemas de roteirização possuem alta complexidade por envolverem a determinação de melhores rotas entre origem e destino (BALLOU, 2007). Esses problemas estão ligados ao objetivo mais amplo da gestão de logística e da cadeia de suprimentos.

Conforme enfatizado por Bowersox e Closs (2011), o transporte desempenha um papel crucial ao movimentar produtos do ponto de origem ao destino, visando reduzir custos financeiros, temporais e ambientais.

Destaca-se que a qualidade do serviço de transporte está diretamente relacionada a fatores como tempo de trânsito reduzido, menor variabilidade, maior segurança e, conseqüentemente, menores níveis de estoque, com o propósito de garantir a maior efetividade (BALLOU, 2007). A gestão logística, por sua vez, emprega um conjunto de ferramentas voltadas para o mercado, com o objetivo de aprimorar a eficiência e eficácia das atividades de transporte e otimizar as interações em toda a cadeia de suprimentos.

Para a resolução do problema aqui apresentado são utilizados Algoritmos Evolucionários, cujos procedimentos possuem o propósito de encontrar soluções ótimas para problemas baseados em mecanismos da evolução natural (NISSEN e BIETHAHN, 1995).

Metodologia de pesquisa

A pesquisa realizada pode ser descrita como analítica pelo fato da utilização de dados já disponíveis para serem analisados e tratados (KOTHARI, 2004). O objetivo é fazer uma avaliação crítica das informações, tais como distâncias, tempos de entrega e volumes transportados, já existentes para encontrar uma solução eficiente para o problema de transporte.

A natureza de sua pesquisa é aplicada, pois, seu objetivo é encontrar uma solução para um problema prático e imediato enfrentando por empresas. O foco está na aplicação direta dos resultados com o propósito de melhorar a qualidade das operações de transporte. A forma de abordagem é quantitativa por utilizar medições de quantidades, valores e quantias (KOTHARI, 2004). Pois, ela se baseia na medição de distâncias, tempos e volumes, com intuito de buscar a otimização das rotas.

A pesquisa é predominantemente empírica, pois, se baseia na experiência, observação e coleta de dados, todavia, ela também possui elementos conceituais (KOTHARI, 2004). A parte empírica é dada pela obtenção de dados e observação de rotas,

enquanto, a parte conceitual está ligada a teorias e conceitos abstratos em relação a otimização das entregas.

O roteirizador é uma solução amplamente utilizada para aprimorar as rotas de transporte em várias áreas da logística. Seu principal objetivo é encontrar a sequência mais eficiente de pontos, levando em consideração critérios como distância ou tempo, a fim de reduzir custos e melhorar o fluxo de entregas. Para atingir esse objetivo, o software emprega algoritmos avançados para analisar um conjunto de dados e determinar a rota otimizada. No cenário de aprimoramentos, torna-se possível aperfeiçoar ainda mais o processo de tomadas de decisão com o uso de abordagens matemáticas de otimização juntamente com técnicas de modelagem (DE OLIVEIRA et al. 2019).

Essa ferramenta oferece aos gestores logísticos a capacidade de visualizar as rotas planejadas em relação aos valores calculados, apresentando um mapa digital detalhado que ilustra o percurso de forma clara e precisa. Isso permite uma melhor compreensão das rotas e auxilia na tomada de decisões estratégicas.

Ao utilizar um roteirizador, as empresas podem alcançar benefícios significativos, como a redução de custos operacionais e o aprimoramento da eficiência nas entregas. Além disso, a ferramenta contribui para uma melhor utilização dos recursos disponíveis, uma vez que as rotas otimizadas minimizam distâncias percorridas e tempos de deslocamento. O roteirizador é composto por 5 guias que serão descritas neste capítulo.

Na guia cadastro é possível realizar o cadastro de todas as informações necessárias para o planejamento das rotas. São cadastradas as cidades de origem e destino, a demanda de produtos que pode ser dada por quantidade ou peso, as características dos veículos utilizados, o detalhamento dos produtos que a empresa possui e combustíveis envolvidos na operação. Além disso, a guia realiza a codificação dos itens, simplificando todo o desenvolvimento do processo.

Essas duas guias são praticamente idênticas, o que altera é que uma trata de distância e outra trata de tempo, mas, ambas têm como função criar uma matriz X_{ij} , que estabelece as distâncias ou os tempos de percurso entre as cidades. Essa matriz é fundamental para a determinação das rotas mais eficientes. As cidades são representadas por uma codificação alfabética, o que facilita a demonstração dos dados obtidos.

A guia Solver é responsável por realizar a otimização das rotas. Nela, é possível visualizar as três tabelas, aos quais são: a rota atual, a melhor rota por distância e a melhor rota por tempo. Todas as tabelas possuem o mesmo template que é composto pelo nome das cidades, pontos, codificação das cidades, distância em quilômetros, tempo de percurso e custo com combustível. Com um simples clique no botão, o usuário pode obter a rota mais adequada de acordo com suas preferências.

O método do Solver deste projeto é o Evolutionary, que utiliza algoritmos genéticos para realizar otimizações. Ele é uma ferramenta que permite encontrar soluções eficientes para problemas de grande escala. Com o uso de conceitos evolucionários, o processo permite o ajuste de parâmetros, o uso de inúmeras iterações, e diversos parâmetros que podem ser alteradas que permitem a adaptação de acordo com que o usuário deseja para fazer uma análise mais precisa e eficiente.

A guia Dashboard apresenta os dados atuais do sistema, oferecendo informações comparativas e demonstrando as melhorias obtidas em relação à rota atual. Ela fornece uma visão geral dos principais indicadores de desempenho, como tempo de viagem, distância percorrida, custos e eficiência da rota otimizada. Além disso, com o uso da integração com o My Maps, é possível visualizar as rotas no mapa, facilitando a compreensão das diferenças entre elas e fornecendo uma representação visual clara das melhorias alcançadas. Isso permite aos usuários avaliar visualmente as alterações nas rotas e comparar os resultados com mais facilidade, contribuindo para uma tomada de decisão mais informada e assertiva.

Estudo de Caso

A empresa, produtora e distribuidora de sorvetes, atua em 86 cidades em Minas Gerais. No entanto, a otimização proposta foi realizada em uma rota que abrange 9 cidades no sul de Minas Gerais. A distribuição de insumos segue um modelo one-to-many, em que a cidade de Pouso Alegre atua como depósito de origem responsável por abastecer os demais municípios adjacentes, que são os destinos para recebimento das mercadorias. Essa configuração permite otimizar o processo de distribuição, concentrando as operações logísticas em um único ponto central. Ao selecionar estrategicamente Pouso Alegre como hub de distribuição, a empresa pode otimizar a rede de transporte, reduzir custos e melhorar a eficiência geral na entrega dos produtos de sorvete às

idades vizinhas.

As cidades são classificadas de acordo com as categorias estabelecidas pela empresa. Essa rotulagem é baseada em relação as vendas semanais e são descritas abaixo:

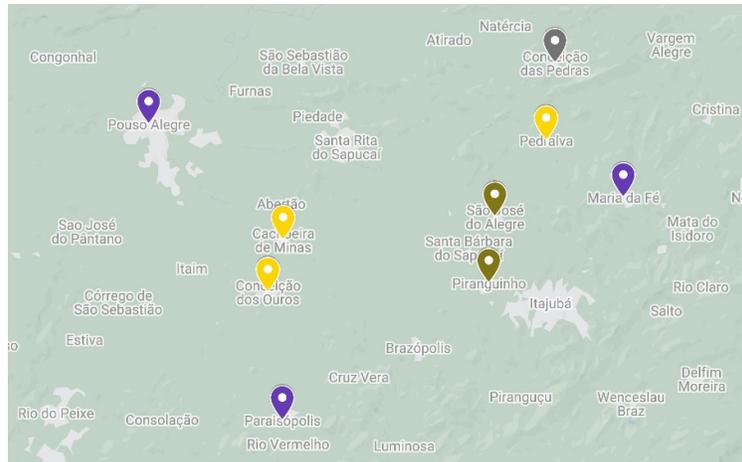
- Bronze: Até R\$ 1.000,00;
- Prata: Até R\$ 1.000,00;
- Ouro: Até R\$ 5.000,00;
- Diamante: Até R\$ 10.000,00;
- Platinum: Acima de R\$ 10.000,00.

A formulação do modelo é baseada nessas 9 cidades, conforme apresentado na Tabela 1. Cada município é identificado por um índice e uma letra sequencial do alfabeto, facilitando a referência e identificação durante a análise. Além disso, as localizações geográficas dessas cidades estão ilustradas na Figura 1 para fornecer uma visão geral da área de estudo.

Tabela 1 – Cidades atendidas pela rota

Cidade	Índice	Correspondente alfabética
Pouso Alegre - MG	1	A
São José do Alegre - MG	2	B
Paraisópolis - MG	3	C
Piranguinho - MG	4	D
Maria da Fé - MG	5	E
Pedralva - MG	6	G
Conceição dos Ouros - MG	7	H
Cachoeira de Minas - MG	8	I
Conceição das Pedras - MG	9	J

Figura 1 – Cidades atendidas pela rota



As variáveis de decisão são as quantidades ou valores que o tomador de decisão deve escolher para resolver o problema. Elas representam as incógnitas do modelo e são usadas para determinar o resultado. Tal representação é feita na Equação (5.1).

$$\begin{cases} x_i: \text{Número que representa a cidade na posição } i \\ i = \{1, 2, 3, \dots, 10\}: \text{posição de cada cidade ou nó} \end{cases} \quad (5.1)$$

A função objetivo é uma expressão matemática que define o objetivo ou critério de desempenho a ser maximizado ou minimizado no problema. Ela é formulada com base nas variáveis de decisão e pode envolver equações lineares, não lineares ou até mesmo funções complexas. A função objetivo do problema é dada pela Equação (5.2) e pela Equação (5.3) que busca a minimização da distância da rota ou a minimização do tempo da rota, que é representada pelo somatório da distância ou do tempo da cidade até a sua próxima.

$$\min z = \sum_1^{10} D_{x_i x_{i+1}} \quad (5.2)$$

$$\min z = \sum_1^{10} T_{x_i x_{i+1}} \quad (5.3)$$

As restrições são as condições ou limitações impostas ao problema que devem ser atendidas para que a solução seja viável e aceitável. Elas são representadas por equações ou inequações que relacionam as variáveis de decisão. Além das restrições principais, também podem existir restrições adicionais ou condições especiais que devem ser consideradas no modelo. As restrições existentes no problema são apresentadas nas Equações (5.4), (5.5), (5.6) e (5.7).

$$x_1 = 1: \text{Ponto de partida} \quad (5.4)$$

$$x_{10} = 1: \text{Ponto de chegada} \quad (5.5)$$

$$\forall x_i, x_j \in P, i \neq j \Rightarrow (x_i \in \{2, 3, \dots, 9\} \wedge x_j \in \{2, 3, \dots, 9\}) \Rightarrow x_i \neq x_j \quad (5.6)$$

$$x_i \geq 0 \quad (5.7)$$

A otimização é realizada por meio do uso do algoritmo Evolutionary, que se baseia nos princípios da evolução biológica, mais especificamente em algoritmos genéticos. Inicialmente, é gerada uma população inicial de soluções candidatas aleatórias para o problema em questão. Cada solução representa uma configuração potencial das variáveis que afetam o problema. A qualidade de cada solução candidata é avaliada com base na função objetivo definida pela empresa, que é de minimização e busca reduzir a quantidade de quilômetros percorridos ou o tempo necessário para completar o percurso. A aplicação de operadores genéticos permite a geração de novas soluções por meio de iterações, continuando até encontrar a melhor solução. O critério de parada geralmente é determinado pelo número máximo de gerações ou quando as melhorias apresentadas não são mais significativas. Por fim, o Solver retorna a solução que melhor atende aos requisitos.

O algoritmo é baseado em uma população inicial e soluções alternativas, com isso, são utilizados operadores de seleção e replicação, há diversas iterações até que o critério de parada seja atendido e que se encontre a solução final como resposta (Jiménez e Verdegay 1999). O Evolutionary possui algumas vantagens que são descritas por Hillier e Lieberman (2013):

- A complexidade da função objetivo não afeta seu processamento;
- A complexidade das restrições também não afeta seu processamento;
- O algoritmo do Evolutionary calcula grandes quantidades de soluções não necessariamente próximas da solução experimental atual, o que evita de o algoritmo retornar uma solução ótima local como uma solução ótima global.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2, os resultados obtidos são apresentados em forma de mapas utilizando a ferramenta My Maps. O dashboard intuitivo fornece uma visão clara do que foi obtido. No primeiro mapa, são exibidas todas as cidades atendidas pela empresa em Minas Gerais. No segundo mapa, é apresentada a rota atual do problema proposto, enquanto no terceiro e no quarto mapa são exibidas as melhores rotas após a realização da otimização. O terceiro mapa mostra a rota de menor distância percorrida, enquanto o quarto mapa mostra a rota de menor tempo de percurso.

Na Figura 3, são apresentadas 4 tabelas. A primeira tabela contém os dados atuais da empresa, incluindo informações sobre as cidades atendidas, as vendas semanais e a categoria de cada cidade. A segunda tabela compara a rota atual com as rotas otimizadas, tanto em termos de tempo quanto de distância percorrida. A terceira tabela mostra o comparativo dos ganhos obtidos com as rotas otimizadas em relação à rota de melhor distância e à rota de melhor tempo. Esses ganhos são apresentados em valores absolutos e em percentuais, proporcionando uma visão abrangente dos benefícios alcançados com a otimização das rotas.

Figura 2 – Dashboard com os clientes, a rota atual e as rotas otimizadas

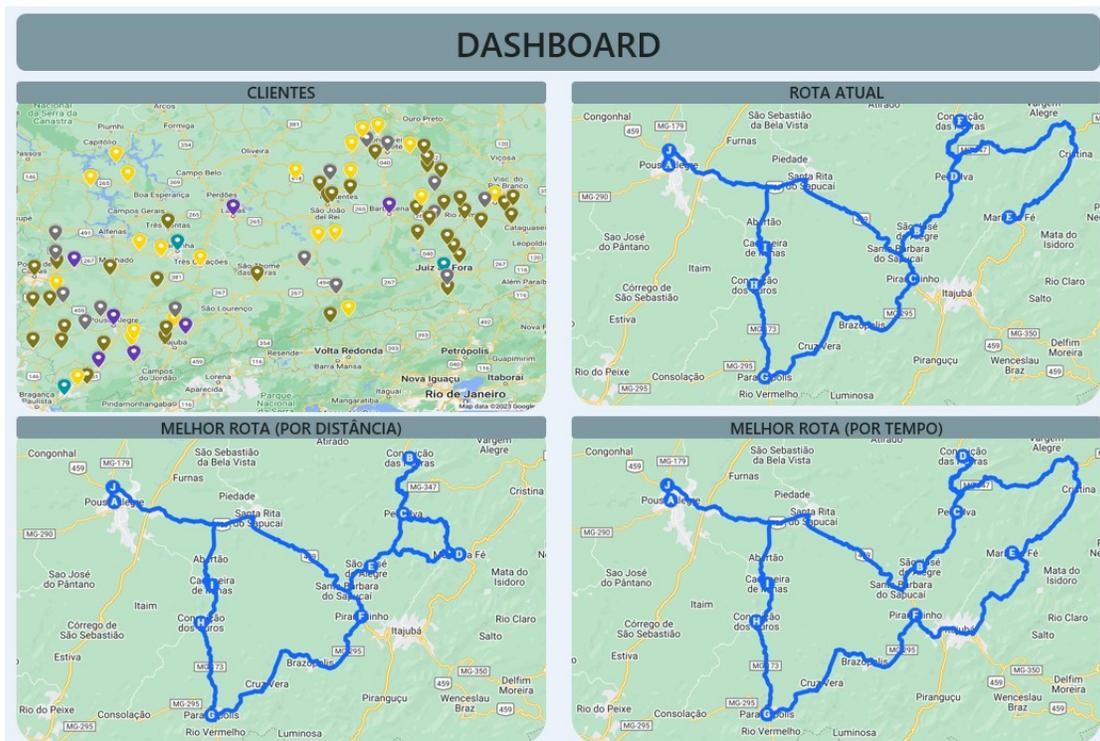


Figura 3: Dados atuais e comparativos em relação ao possível ganho

DADOS ATUAIS		MELHORIAS (COMPARATIVO)					
Clientes (Empresa)	86						
Clientes (Rota)	9						
Veículos (Rota)	1						
Produtos	2						
Combustível (R\$)	R\$5,25						
Qtd. Pedidos	1047						
Qtd. Produtos	1858						
Pedidos (R\$)	R\$31.329,00						
Km rodados	320,2	Km rodados	320,2	266,9			
Tempo de viagem	6:01	Tempo de viagem	6:01	5:42			
Gasto (R\$)	R\$258,62	Gasto (R\$)	R\$258,62	R\$215,57			
				R\$242,39			
CIDADES ATENDIDAS (ROTA)		GANHOS (COMPARATIVO)					
Cidade	Vendas (R\$)	Category					
Pouso Alegre - MG	R\$8.394,00	Diamante					
Cachoeira de Minas - MG	R\$3.480,00	Ouro					
Conceição das Pedras - MG	R\$1.832,00	Prata					
Conceição dos Ouros - MG	R\$2.647,00	Ouro					
Maria da Fé - MG	R\$5.194,00	Diamante					
Paraisópolis - MG	R\$6.090,00	Diamante					
Pedralva - MG	R\$2.329,00	Ouro					
Piranguinho - MG	R\$656,00	Bronze					
São José do Alegre - MG	R\$707,00	Bronze					
			Melhor Km	Melhor Tempo			
			Km rodados	53,3	16,65%	20,1	6,28%
			Tempo de viagem	0,19	5,26%	0,32	8,86%
			Gasto (R\$)	R\$43,05	16,65%	R\$16,23	6,28%

CONCLUSÕES

Esse trabalho apresenta o desenvolvimento e o refinamento de uma roteirização, a partir de algoritmos evolucionários para a otimização de rotas de transporte. A movimentação de produtos de sua origem aos pontos de destino é indispensável para a continuidade das operações comerciais e, por isso, há uma crescente demanda por assertividade e qualidade no serviço de transporte. Este está relacionado a fatores como a redução do tempo de trânsito, menor variabilidade e maior segurança do serviço e a operação com menores níveis de estoque. Entre os objetivos esperados para essa competência estão a redução dos custos financeiros e ambientais.

O artigo traz um estudo de caso com base em uma empresa real para avaliar criticamente as informações e buscar uma solução eficiente para o problema de transporte. O uso de algoritmos evolucionários mostrou-se eficaz ao encontrar soluções ótimas para o problema atual. O roteirizador emprega algoritmos avançados para determinar a sequência mais eficiente de pontos, considerando critérios como distância ou tempo. Sua aplicação traz benefícios significativos, como a redução de custos operacionais, a melhoria da eficiência nas entregas e a melhor utilização dos recursos disponíveis.

O estudo de caso aplica a otimização de rotas em uma empresa produtora e distribuidora de sorvetes, na qual a configuração estratégica de um ponto central de distribuição possibilitou otimizar a rede de transporte. O resultado mostra a importância do estudo prévio e da aplicação da Pesquisa Operacional na roteirização e otimização das rotas de transporte, que contribuem para a competitividade organizacional. Entre os benefícios trazidos pela aplicação dos estudos de roteirização estão a redução dos custos de armazenamento, transporte e distribuição de bens e o aumento da de clientes.

REFERÊNCIAS

- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial**. Porto Alegre: Bookman editora, 2007.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. 2007. p. 594-594.
- CHING, Hong Yuh. **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada-supply chain**. Editora Atlas SA, 2000.
- CLARENS, Gérard C.; HURDLE, V. F. An operating strategy for a commuter bus system. **Transportation Science**, v. 9, n. 1, p. 1-20, 1975.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Perfil Empresarial 2021: Transporte Rodoviário de Cargas**. Brasília: CNT, 2021.
- DE OLIVEIRA, Lucas Guedes et al. Response surface methodology for advanced manufacturing technology optimization: theoretical fundamentals, practical guidelines, and survey literature review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 104, p. 1785-1837, 2019.
- JÜNGER, Michael; REINELT, Gerhard; RINALDI, Giovanni. The traveling salesman problem. **Handbooks in operations research and management science**, v. 7, p. 225-330, 1995.
- KARP, Richard M. On the computational complexity of combinatorial problems. **Networks**, v. 5, n. 1, p. 45-68, 1975.
- KOTHARI, Chakravanti Rajagopalachari. **Research methodology: Methods and Techniques**. 2ª ed. New Age International Publishers, 2004.
- MERZ, P. **Memetic algorithms for combinatorial optimization problems: Fitness landscapes and effective search strategies**, Ph.D. Theses, Parallel Systems Research Group. Department of Electrical Engineering and Computer Science. University of Siegen, 2000.
- NISSEN, Volker; BIETHAHN, Jörg. **An introduction to evolutionary algorithms. Evolutionary algorithms in management applications**, p. 3-43, 1995.
- SEGUY, Vivien et al. **Large-scale optimal transport and mapping estimation**. 6th International Conference on Learning Representations, ICLR, 2018.
- TAHA, Hamdy A. Operations research: an introduction. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 1, n. 17, p. 78, 1998.