EVENTO ON-LINE
ConBRepro
XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

Otimização de Rotas de Entrega por Algoritmo Genético: Uma Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante na roteirização de entregas de um Moinho

Melissa Vicenzi Fioreli
Engenharia de Produção - Faculdade CESURG Marau
Tainara Kaspary
Engenharia de Produção - Faculdade CESURG Marau
Igor Bosa
Engenharia de Produção - Faculdade CESURG Marau

Resumo: A otimização das operações de transporte constitui um importante desafio para as empresas, especialmente em razão da representatividade dos custos associados às atividades de distribuição. Nesse contexto, a utilização de métodos de otimização pode contribuir para a definição de rotas mais eficientes. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo otimizar a rota de entrega de um moinho, utilizando um Algoritmo Genético aplicado ao Problema do Caixeiro Viajante. Para tanto, foram levantadas as distâncias entre os municípios atendidos pela empresa e estruturada uma matriz de distâncias, utilizada como base para a modelagem do problema. A solução foi obtida por meio da aplicação de um Algoritmo Genético. Os resultados indicaram que o algoritmo convergiu para uma solução com distância total de 502,00 km, contemplando os 19 municípios considerados no estudo, sem repetição e com retorno ao município de origem. A solução obtida demonstra a aplicabilidade do Algoritmo Genético na definição de rotas para problemas de roteamento.

Palavras-chave: Algoritmo Genético, Problema do Caixeiro Viajante, Otimização, Roteirização.

Delivery Route Optimization Using a Genetic Algorithm: An Application of the Traveling Salesman Problem to Delivery Routing in a Mill

Abstract: The optimization of transportation operations represents an important challenge for companies, particularly due to the significant costs associated with distribution activities. In this context, the use of optimization methods can contribute to the definition of more efficient routes. Therefore, this study aimed to optimize the delivery route of a flour mill by applying a Genetic Algorithm to the Traveling Salesman Problem. To this end, the distances between the municipalities served by the company were collected, and a distance matrix was structured and used as the basis for modeling the problem. The solution was obtained through the application of a Genetic Algorithm. The results indicated that the algorithm converged to a solution with a total distance of 502.00 km, covering the 19 municipalities considered in the study, without repetition and with a return to the municipality of origin. The solution obtained demonstrates the applicability of the Genetic Algorithm in defining routes for routing problems.

Keywords: Genetic Algorithm, Traveling Salesman Problem, Optimization, Vehicle Routing.

1. Introdução

No contexto brasileiro, a logística apresenta grande relevância para o desenvolvimento da economia, principalmente em função da ampla dimensão territorial do país e de sua posição de destaque entre as economias latino-americanas (Oliveira, 2023). Além disso, a logística configura-se como um dos desafios mais críticos que as empresas enfrentam (Konstantakopoulos; Gayialis; Kechagias, 2022), visto que, os gastos com transportes representam uma parcela significativa dos custos (Bremenkamp *et al*., 2016), impactando diretamente em sua competitividade (García-Arca; Garrido; Prado-Prado, 2016). Diante disso, estratégias de gestão de frotas são fundamentais para o aumento da eficiência das operações de transporte, bem como para a garantia da qualidade e do nível logístico das empresas (Guerriero *et al*., 2025), sendo, segundo Palhares e Araújo (2018), essencial que as organizações empreguem planos de roteirização estruturados.

O estabelecimento de um roteiro de distribuição gera benefícios significativos, tanto em relação ao custo operacional e à velocidade, quanto à eficiência do transporte (Chen *et al*., 2019). De acordo com Miranda, Soliani e Freitas (2021), uma alternativa para a definição de rotas mais eficientes consiste na aplicação do Problema do Caixeiro Viajante (PCV). O PCV consiste em um problema de otimização que busca determinar a menor distância possível para percorrer um conjunto de cidades, visitando cada uma destas cidades exatamente uma vez e retornando, ao final, à cidade de origem (Nourmohammadzadeh; Sarhani; Voß, 2023; Tsai *et al*., 2004).

Todavia, cabe destacar que, apesar da simplicidade do conceito de PCV, sua resolução mostra-se consideravelmente complexa, uma vez que este é classificado como um problema de otimização combinatória *NP-Hard* (Agrawal *et al*., 2021; Frischer; Pollak; Jančíková, 2019). Dentre as possibilidades para contornar tal dificuldade, Maia (2018) destaca a utilização de algoritmos metaheurísticos para se chegar a uma solução viável. Dentre os algoritmos metaheurísticos, os Algoritmos Genéticos (AGs) têm demonstrado capacidades significativas de otimização em diversos campos, dentre eles, o da otimização de rotas de entrega (Gu, 2025; Yan; Deng, 2025).

De modo geral, os AGs fundamentam-se nos princípios de seleção natural e evolução das espécies propostos por Charles Darwin (Vikhar, 2016; Tsai *et al*., 2004). A partir desses princípios, os AGs simulam o processo evolutivo de uma população de indivíduos por meio da aplicação de operadores genéticos, buscando obter soluções viáveis para problemas de otimização complexos (Rubim, 2025). Nesse contexto, os AGs apresentam-se como uma abordagem aplicável à resolução de problemas que envolvem um elevado número de possíveis soluções e demandam estratégias eficientes de busca (Kocyigit; Sahingoz; Diri, 2020; Rubim, 2025). Entre essas aplicações, destacam-se os problemas de roteamento, nos quais a ocorre a busca por combinações eficientes de trajetos (Chauhan; Singh; Saxena, 2026).

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo aplicar o PCV para otimizar as rotas realizadas pelo veículo de entrega utilizado por um moinho, de modo a reduzir a distância total percorrida e possibilitar que os clientes em todas as cidades sejam atendidos. A resolução do PCV para a definição da rota de entrega foi realizada por meio de um AG, de modo a encontrar uma solução em um tempo computacional viável. Justifica-se a realização deste estudo devido a importância da otimização do transporte, visto que a adoção de estratégias voltadas à otimização das operações de transporte pode contribuir para a redução de até 25% nos custos totais (Ochelska-Mierzejewska; Poniszewska-Marańda; Marańda, 2021). Diante do exposto, a adoção de rotas mais eficientes pode representar um importante diferencial competitivo para essas empresas (Abbasi *et al*., 2020), dada a parcela significativa dos custos totais da empresa representada pelas operações de transporte (Feng *et al*., 2021).

2. Referencial Teórico

Nesta seção é apresentado o referencial teórico que sustenta o desenvolvimento deste estudo. Para tanto, são abordados os assuntos: (i) problema do caixeiro viajante; e (ii) algoritmos genéticos.

2.1 Problema do Caixeiro Viajante

O PCV apresenta ampla utilização em razão de sua relevância tanto teórica quanto prática (Bonates, 2025; Putti; Oliveira; Schmidt, 2025). De maneira geral, esse problema busca determinar o menor percurso possível para que o "caixeiro viajante" percorra um conjunto de cidades, visitando cada uma delas exatamente uma vez e, ao final, retornando ao ponto de partida (Bonates, 2025). O PCV foi o primeiro problema apresentado com o objetivo de promover o melhoramento das rotas veiculares (Junior; Silva, 2015). Segundo Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954), o PCV pode ser definido como um problema de programação binária aplicado a um grafo $G = (N, A)$, conforme apresentado:

$$\min z = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} c_{ij} x_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad \forall j \in N \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad \forall i \in N \tag{2}$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \qquad \forall S \subset N \tag{3}$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in N \tag{4}$$

Onde, de acordo com Taufer e Pereira (2011):

c_{ij}: Custo de ir da cidade *i* a cidade *j*;

$x_{ij} = 1$: Se arco $(i, j) \in A$;

$x_{ij} = 0$: caso contrário;

S: Subgrafo de *G*;

$|S|$: Números de vértices do subgrafo S.

Na formulação proposta por Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954), a função objetivo tem como finalidade minimizar a distância ou o tempo necessário para que o “caixeiro viajante” percorra diferentes pontos uma única vez e, posteriormente, retorne ao ponto de partida. Para assegurar que cada cidade seja visitada apenas uma vez, o modelo apresenta uma restrição que permite a chegada de somente um arco a cada cidade j (1), bem como uma restrição que determina a saída de apenas um arco de cada cidade i (2) (Barbosa, 2014; Taufer; Pereira, 2011). Além disso, para impedir a formação de circuitos pré-hamiltonianos, isto é, de subrotas que impossibilitariam a obtenção da solução ótima do modelo, limita-se a $|S|-1$ a quantidade de variáveis associadas a essas cidades que podem assumir valores diferentes de zero (3) (Barbosa, 2014; Taufer; Pereira, 2011). Por fim, o modelo apresenta uma restrição de não negatividade (4), fazendo com que os possíveis valores de x sejam binários (Taufer; Pereira, 2011).

2.2 Algoritmos Genéticos

Os AGs são técnicas de busca aleatória-guiada que utilizam modelos computacionais baseados nos processos realizados pela natureza para solucionar problemas (Gu, 2025; Salhi; Alenezi, 2024; Yin, 2025). De maneira geral, o funcionamento dos AGs fundamenta-se no conceito de população (Al-Salami, 2009), que é submetida a diferentes fatores inspirados em conceitos da genética e da seleção natural, incluindo reprodução, mutação, recombinação e seleção (Vikhar, 2016; Junior; Silva, 2015; Nunes, 2018; Ribeiro, 2019; Tsai et al., 2004).

Na resolução de problemas de otimização, os AGs iniciam com uma solução aleatória, na qual cada indivíduo é avaliado de forma específica e suas variáveis são modificadas conforme o respectivo valor de aptidão. A evolução dos indivíduos ocorre por meio dos processos de reprodução, recombinação, mutação e seleção (Salhi; Alenezi, 2024). Dessa forma, uma população de soluções, formada por um conjunto de cromossomos que representam possíveis soluções, evolui ao longo de uma sequência de gerações (Srinivas; Patnaik, 1994).

A cada geração, a aptidão de cada solução é avaliada e os indivíduos são selecionados para reprodução de acordo com seus respectivos valores de aptidão (Srinivas; Patnaik, 1994). Assim, aqueles que apresentam melhor atendimento à função objetivo e às restrições, ou seja, melhor fitness, possuem maior probabilidade de serem escolhidos como base para a formação da geração seguinte (Mendes; Gomide, 2005). Dessa maneira, a população empregada na resolução do problema é submetida a sucessivas iterações, considerando continuamente a qualidade das soluções obtidas (Dréo et al., 2006). Nesse contexto, Mendes e Gomide (2005) ressaltam que a seleção constitui um dos operadores mais importantes, uma vez que é responsável por escolher os indivíduos mais aptos e descartar os demais.

Com o avanço das gerações, o operador de taxa de crossover, que consiste na combinação de cromossomos pais para gerar novas soluções (Mendes; Gomide, 2005), é responsável por produzir indivíduos com características potencialmente melhores que as presentes na geração de seus progenitores (Muniz, 2025; Mendes; Gomide, 2005). De modo geral, de acordo com Goldberg (1989), a taxa de crossover é responsável pela exploração do espaço de busca.

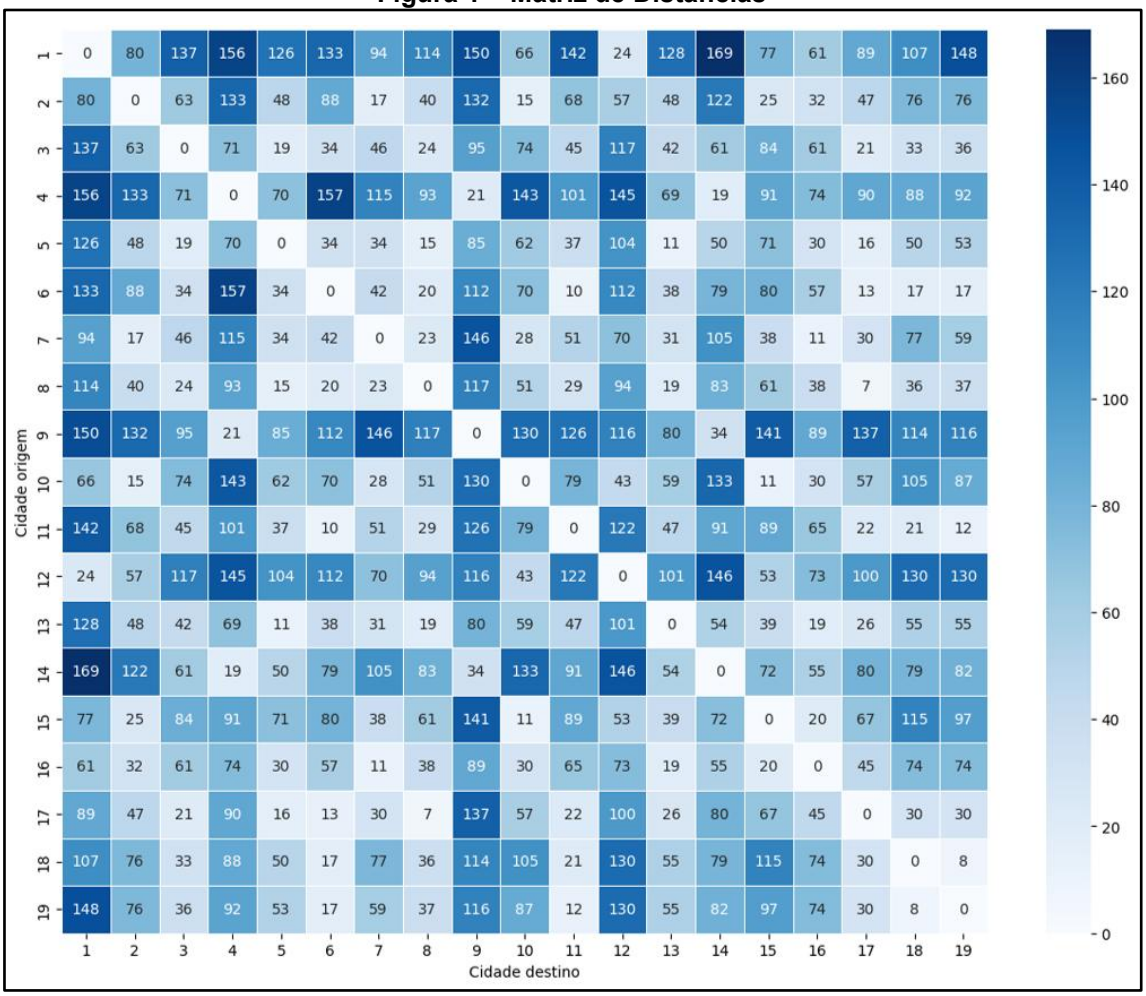
Por fim, cada geração criada é afetada por uma taxa de mutação, que consiste na aplicação de uma pequena alteração aleatória nos genes para diversificar as soluções e evitar a ocorrência de uma convergência prematura (Oliveira, 2025). O operador de mutação modifica aleatoriamente um ou mais genes de um cromossomo (Mendes; Gomide, 2005), de modo a criar uma variabilidade extra na população (Goldberg, 1989).

Embora este método não necessariamente encontre a solução ótima para o problema (Yuejun, 2024), a solução encontrada frequentemente será, capaz de atender satisfatoriamente a função objetivo e as restrições do problema (Nunes, 2018; Yuejun, 2024). Desse modo, os AGs consistem em um meio eficiente para a resolução de problemas de otimização complexos (Al-Salami, 2009).

3. Método

Para alcançar o objetivo proposto, foi realizado um processo estruturado de coleta de dados com o intuito de mapear as distâncias de todos os segmentos rodoviários que conectam os municípios onde estão localizados clientes atendidos pela empresa estudada. Esse levantamento possibilitou a estruturação de uma matriz de distâncias (Figura 1), na qual cada elemento representa a distância necessária para o deslocamento entre uma cidade de origem e uma cidade de destino.

Figura 1 – Matriz de Distâncias



Cidades: (1) Vila Maria (Origem); (2) Anta Gorda; (3) Arroio do Meio; (4) Boqueirão do Leão; (5) Capitão; (6) Colinas; (7) Dr. Ricardo; (8) Encantado; (9) Gramado Xavier; (10) Ilópolis; (11) Imigrantes; (12) Nova Alvorada; (13) Nova Bréscia; (14) Progresso; (15) Putinga; (16) Relvado; (17) Roca Sales; (18) Teutônia; e (19) Westfália.

Fonte: Dados da Pesquisa (2026)

Considerando que a empresa atende a clientes localizados em 18 municípios distintos, existem aproximadamente $6{,}4 \times 10^{15}$ possibilidades distintas de rotas. Em função disso,

para determinar a rota otimizada, optou-se por utilizar o modelo clássico do Problema do Caixeiro Viajante. Considerando que este consiste em um problema clássico de otimização combinatória, classificado como *NP-Hard* (Tsai *et al*., 2004; Agrawal *et al*., 2021), e a considerável quantidade de potenciais rotas distintas, optou-se por implementar métodos meta-heurísticos (Almeida *et al*., 2013), para a definição da rota otimizada. Dentre os métodos meta-heurísticos, Tsai *et al*. (2004) destacam que os Algoritmos Genéticos são particularmente adequados para a resolução do Problema do Caixeiro Viajante (Tsai *et al*., 2004). Diante disso, este estudo adotou uma abordagem baseada em um AG (Algoritmo 1) para propor uma rota otimizada para a realização das entregas.

Algoritmo 1 – Pseudocódigo

```
Início
    Inicializar população com P rotas aleatórias;
    Definir melhor_rota ← nulo e melhor_distância ← ∞;
    enquanto (geração < G) faça
        Calcular distância e fitness de cada rota;
        Preservar os Emelhores indivíduos;
        Selecionar dois pais por torneio;
        Gerar descendente;
        Aplicar mutação
        Adicionar descendentes à nova população;
        Atualizar melhor_rota e melhor_distância;
    fim-enquanto
    Ajustar a rota para iniciar na cidade de origem e fechar o ciclo;
    retornar melhor_rota, melhor_distância
Fim
```

Fonte: Elaborado pelos Autores (2026)

Para realização deste estudo, utilizou-se um número máximo de 500 gerações, de modo que, se o cálculo não atingisse um ótimo local no intervalo de 500 gerações, o cálculo seria interrompido. Cada geração foi composta por uma população de 100 indivíduos (soluções), pois populações menores tendem a acelerar a convergência, possibilitando encontrar a solução viável em um menor tempo computacional por geração (Goldberg, 1989). A seleção dos indivíduos foi realizada através do método de seleção por torneio. Optou-se por esse método pois a pressão seletiva pode ser ajustada através do parâmetro de tamanho do torneio (k), de modo que, quanto maior o número de competidores (k), maior a pressão seletiva resultante (Eiben; Smith, 2007; Miller; Goldberg 1995). Neste estudo, utilizou-se k = 2.

Para garantir a exploração do espaço de busca (Goldberg, 1989), utilizou-se uma taxa de Crossover de 0,8 (80%), visto que uma taxa de crossover alta é crucial para garantir a troca de material genético e a combinação de características de indivíduos mais aptos (Goldberg, 1989). Além disso, cada geração criada foi afetada por uma taxa de mutação, de modo a reintroduzir diversidade e evitar a estagnação em ótimos locais (Goldberg, 1989; Michalewicz; Schoenauer, 1996). Neste estudo utilizou-se uma taxa de mutação de 0,001 (0,1%). A partir destes parâmetros, um conjunto de soluções é gerado de maneira aleatória dentro do domínio da função objetivo, sendo realizado o cálculo do *fitness* de cada solução, a fim de mensurar sua adequação ao problema (Muniz, 2025).

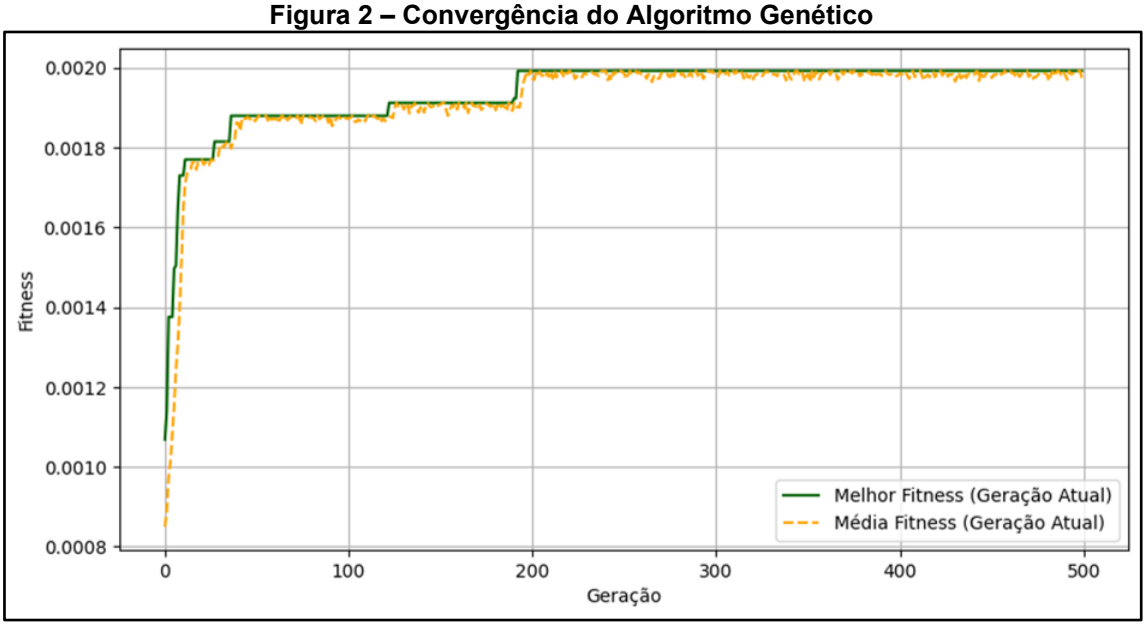
4. Resultados

Após o levantamento das distâncias, foram realizados os procedimentos computacionais para a otimização da rota de entrega através da aplicação de um AG. A aderência das

soluções à função objetivo foi avaliada por meio do grau de adaptação (*fitness*) médio da população em cada geração (Ferneda, 2009). A função de fitness permite mensurar a qualidade das soluções geradas pelo algoritmo em relação ao objetivo estabelecido para o problema, atribuindo valores que possibilitam comparar os diferentes indivíduos da população (Ferneda, 2009).

O algoritmo atingiu seu melhor valor de *fitness* médio na ducentésima geração. A partir dessa geração, o valor do *fitness* médio apresentou comportamento estável, sem alterações significativas nas gerações subsequentes, evidenciando a convergência do algoritmo para uma solução que não apresentou melhorias adicionais durante o restante do processo evolutivo. Esse comportamento indica que, para os parâmetros utilizados, o algoritmo encontrou uma solução viável. A Figura 2, a seguir, apresenta a evolução do *fitness* médio ao longo das gerações, permitindo visualizar o processo de melhoria das soluções, bem como o momento em que ocorreu a convergência do algoritmo.

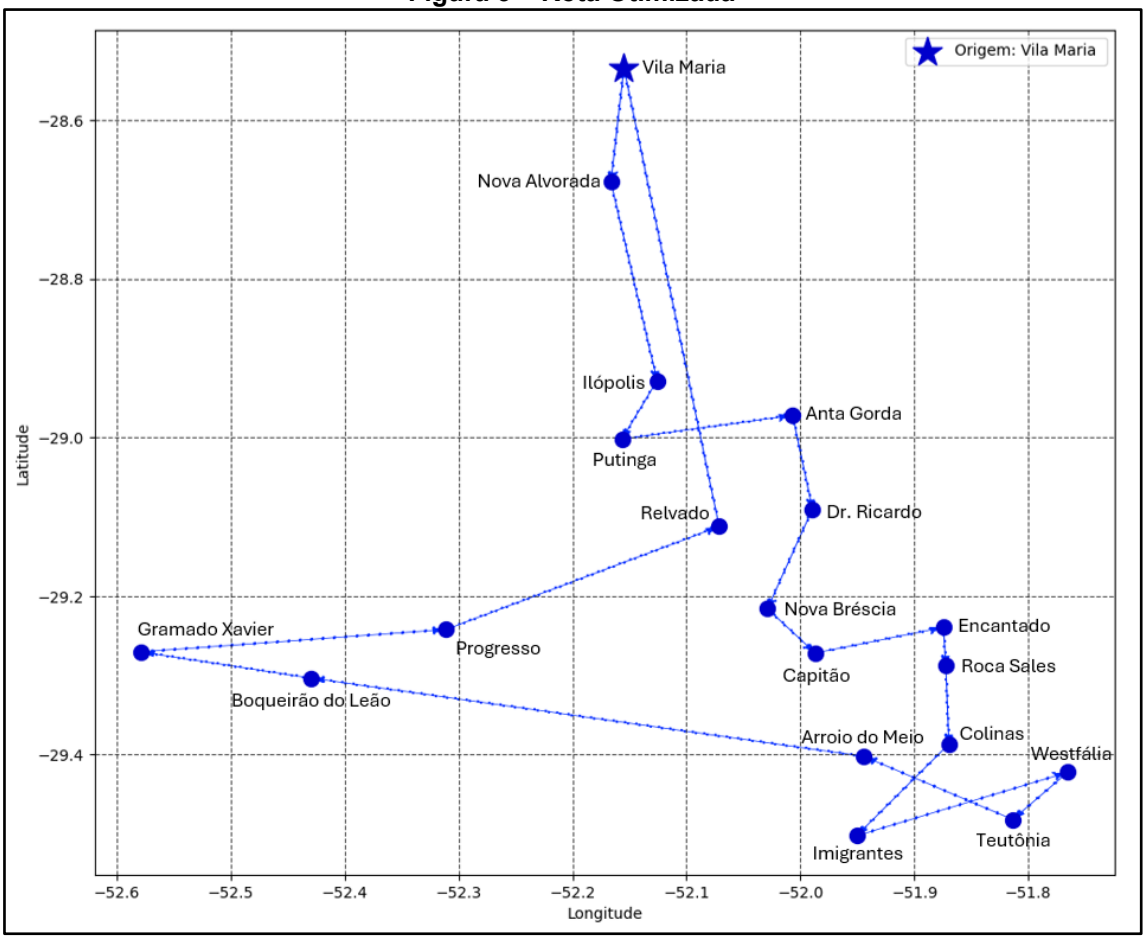
Figura 2 – Convergência do Algoritmo Genético



Fonte: Dados da Pesquisa (2026)

A melhor solução encontrada (Figura 3), resultou em uma rota com distância total de 502,00 km, estabelecendo um circuito fechado com partida e retorno ao município de Vila Maria, município no qual a empresa estudada está sediada. O itinerário que inicia em Vila Maria, segue, sequencialmente, pelos municípios de Nova Alvorada, Ilópolis, Putinga, Anta Gorda e Dr. Ricardo. Na sequência, a rota prossegue por Nova Bréscia, Capitão, Encantado, Roca Sales, Colinas, Imigrantes, Westfália e Teutônia, avançando posteriormente para Arroio do Meio e Boqueirão do Leão. No trecho final do percurso, são atendidos os municípios de Gramado Xavier, Progresso e Relvado, antes do retorno ao município de Vila Maria, ponto de origem da operação. Dessa forma, a solução obtida contempla os 19 municípios atendidos, formando um circuito contínuo e sem repetição, minimizando a distância total percorrida e, consequentemente, contribuindo para a eficiência da operação da distribuição.

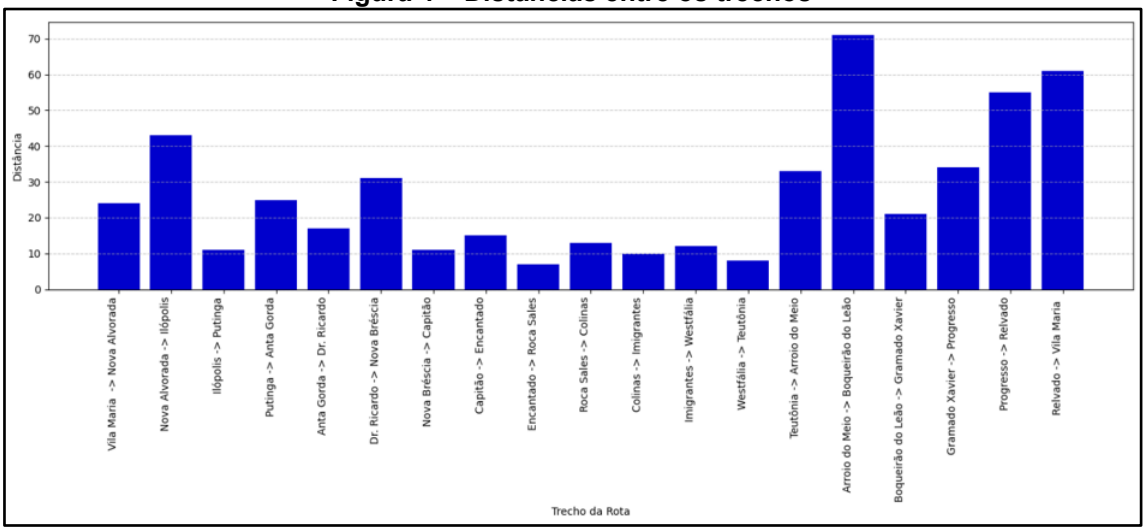
Figura 3 – Rota Otimizada



Fonte: Dados da Pesquisa (2026)

A análise da distribuição das distâncias por segmento (Figura 4), evidencia que a rota otimizada apresenta uma distância média de aproximadamente 26,42 km por trecho. Observa-se uma predominância de deslocamentos curtos e médios, sendo que 15 dos 19 segmentos apresentam distâncias inferiores a 40 km, indicando um bom encadeamento entre grande parte dos municípios atendidos.

Figura 4 – Distâncias entre os trechos



Fonte: Dados da Pesquisa (2026)

Apesar da existência de alguns segmentos mais extensos, especialmente na etapa final do percurso, a distribuição das distâncias demonstra que a solução encontrada pelo algoritmo proporciona uma sequência de atendimento relativamente equilibrada entre os municípios atendidos. A predominância de deslocamentos de menor e média extensão indica que o algoritmo foi capaz de estabelecer uma ordem de visita que reduz a ocorrência de deslocamentos excessivamente longos entre pontos consecutivos da rota. Os segmentos de maior extensão observados na etapa final do percurso não necessariamente representam uma deficiência da solução, pois podem estar associados à própria configuração espacial dos municípios e à necessidade de conexão entre localidades mais distantes.

5. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo otimizar a rota de entrega realizada pelo veículo utilizado por um Moinho situado na região norte do estado do Rio Grande do Sul, por meio da aplicação de um AG ao PCV. A abordagem foi utilizada com o propósito de definir uma sequência de atendimento que contemplasse todos os municípios considerados no estudo, minimizando a distância total percorrida e mantendo o retorno ao município de origem.

A aplicação do AG possibilitou obter uma solução composta pelos 19 municípios considerados, sem repetição de visitas e formando um circuito fechado com origem e retorno ao município de Vila Maria. A solução encontrada apresentou distância total de 502,00 km, enquanto a análise da distribuição dos segmentos indicou predominância de deslocamentos de curta e média extensão, com 15 dos 19 trechos apresentando distâncias inferiores a 40 km. Em relação ao comportamento do algoritmo, observou-se a estabilização do fitness médio a partir da 200ª geração, sem alterações significativas nas gerações subsequentes. Esse comportamento indica que, considerando os parâmetros adotados, o algoritmo convergiu para uma solução que não apresentou melhorias adicionais ao longo das gerações restantes.

Os resultados demonstram que a aplicação de um AG possibilitou a obtenção de uma solução viável para o PCV no contexto analisado, contribuindo para a definição de uma sequência de atendimento para as operações de entrega. Para estudos futuros, recomenda-se a comparação entre a solução obtida pelo AG e a rota atualmente utilizada pela empresa, bem como a avaliação de indicadores relacionados à distância percorrida e aos custos de transporte.

Referências

ABBASI, M. *et al*. An efficient parallel genetic algorithm solution for vehicle routing problem in cloud implementation of the intelligent transportation systems. **Journal of Cloud Computing**, v. 9, n. 1, 2020.

AGRAWAL, A. *et al*. Evolutionary algorithm hybridized with local search and intelligent seeding for solving multi-objective Euclidian TSP. **Expert Systems with Applications**, v. 181, 115192, 2021.

ALMEIDA, F. *et al*. Parameterized Schemes of Metaheuristics: Basic Ideas and Applications with Genetic Algorithms, Scatter Search, and GRASP. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, v. 43, n. 3, p. 570-586, 2013.

AL-SALAMI, N. M. A. Evolutionary Algorithm Definition. **American Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 2, n. 4, p. 789–795, 2009.

BARBOSA, R. C. **Aplicação da metaheurística algoritmo genético na otimização das rotas de entregas da distribuição física de produtos no município de Fortaleza**. 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado em Logística e Pesquisa Operacional) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

BONATES, D. M. **Algoritmo genético aplicado ao problema do sequenciamento de produção: o problema do caixeiro viajante no setor de duas rodas do polo industrial de Manaus**. 2025. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2025.

BREMENKAMP, L. H. *et al*. Aplicação da heurística de Clarke & Wright para um problema de roteirização de veículos homogêneos em uma distribuidora. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36., 2016, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: ABEPRO, 2016. p. 107–120.

CHAUHAN, V.; SINGH, D.; SAXENA, P. A new crossover based genetic algorithm approach to multi period multi echelon location inventory routing problems with demand uncertainty and risk factors. **Kuwait Journal of Science**, v. 53, n. 4, 100662, 2026.

CHEN, J. *et al*. Optimization of Transportation Routing Problem for Fresh Food by Improved Ant Colony Algorithm Based on Tabu Search. **Sustainability**, v.11, n. 23, 6584, 2019.

DANTZIG, G.; FULKERSON, R.; JOHNSON, S. Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem. **Journal of the Operations Research Society of America**, v. 2, n. 4, p. 393-410, 1954.

DRÉO, J. *et al*. **Metaheuristics for Hard Optimization:** methods and case studies. Berlin: Springer, 2006.

EIBEN, A. E.; SMITH, J. E. **Introduction to Evolutionary Computing**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015.

FENG, L. *et al*. Solving Generalized Vehicle Routing Problem with Occasional Drivers via Evolutionary Multitasking. **IEEE Transactions on Cybernetics**, v. 51, n. 6, p. 3171–3184, 2021.

FERNEDA, E. Aplicando Algoritmos Genéticos na Recuperação de Informação. **DataGramaZero - Revista de Ciência da Informação**, v.10 n.1, 2009.

FRISCHER, R.; POLLAK, M.; JANČÍKOVÁ, Z. K. Optimizing logistics routes in the field of maintenance. **Acta logistica**, v. 6, n. 3, p. 93-101, 2019.

GARCÍA-ARCA, J.; GARRIDO, A. T. G.; PRADO-PRADO, J. C. Packaging Logistics" for improving performance in supply chains: the role of meta-standards implementation. **Production**, v.26, n. 2 p. 261-272, 2016.

GOLDBERG, D. E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.

GU, Y. Logistics route optimization based on improved shark optimization algorithm. **Procedia Computer Science**, v. 262, p. 1322-1328, 2025.

GUERRIERO, F. *et al*. Product Quality and Sustainability in a Multi-Objective VRP: case study on the distribution of extra-virgin olive oil. **Procedia Computer Science**, v. 253, n. 1, p. 2730-2739, 2025.

JUNIOR, J. D. C.; SILVA, A. A. N. Algoritmo Genético aplicado ao problema de Roteamento de Veículos. **Design & Tecnologia: Revista Tecnológica e Científica**, vol. 2, n. 2, pp. 88-109, 2015

KOCYIGIT, E.; SAHINGOZ, O. K.; DIRI, B. An Evolutionary Approach to Multiple Traveling Salesman Problem for Efficient Distribution of Pharmaceutical Products. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENGINEERING (ICEE), 2020, Istanbul. **Proceedings [...]**. Istanbul: IEEE, 2020. p. 1-7.

KONSTANTAKOPOULOS, G. D.; GAYIALIS, S. P.; KECHAGIAS, E. P. Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: a literature review and classification. **Operational Research**, v. 22, n. 3, p. 2033-2062, 2022.

MAIA, M. R. **Estudo do Problema do Roteamento de Veículos com Janela de Tempo por meio de Computação Evolutiva**. 2018. 56f. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, João Monlevade, 2018.

MENDES, F. O. M. F.; GOMIDE, F. A. C. **Aplicação de Modelos de Estimação de Fitness em Algoritmos Genéticos**. 2005. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Brasil, Campinas, 2005.

MICHALEWICZ, Z.; SCHOENAUER, M. Evolutionary Algorithms for Constrained Parameter Optimization Problems. **Evolutionary Computation**, v. 4, n. 1, p. 1-32, 1996.

MILLER, B. L.; GOLDBERG, D. E. **Genetic Algorithms, Tournament Selection, and the Effects of Noise**. Complex Systems, v. 9, p. 193-212, 1995.

MIRANDA, A. L.; SOLIANI, R. D.; FREITAS, C. G. Roteirização de Veículos: Uma Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante no Setor de Alimentos. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 41., 2021, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2021.

MUNIZ, L. R. R. **Algoritmo Genético aplicado ao problema do 8-puzzle**. 2025. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, Uberlândia, 2025.

NOURMOHAMMADZADEH, A.; SARHANI, M.; VOß, S. A matheuristic approach for the family traveling salesman problem. **Journal of Heuristics**, v. 29, p. 435–460, 2023.

NUNES, J.; R.; DE.; O. **Avaliação de Taxas de Cruzamento e Mutação em um Algoritmo Genético Baseado em Ordem Aplicado ao Problema do Caixeiro Viajante**. 2018. 49f. Monografia (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil, Caicó, 2018.

OCHELSKA-MIERZEJEWSKA, J.; PONISZEWSKA-MARAŃDA, A.; MARAŃDA, W. Selected genetic algorithms for vehicle routing problem solving. **Electronics**, v. 10, n. 24, 2021.

OLIVEIRA, F. D. G. **Experimentação de Parâmetros de um Algoritmo Genético para o Problema do Corte Máximo**. 2025. 51f. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Federal do Ceará, Brasil, Russas, 2025.

OLIVEIRA, M. G. D. **Uma Abordagem do Algoritmo Genético com Foco na Inicialização para o Problema do Caixeiro Viajante**. 2023. 57f. Monografia (Ciência da Computação), Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões., Maceió, 2023.

PALHARES, R. A.; ARAÚJO, M. C. B. Vehicle Routing: Application of Travelling Salesman Problem in a Dairy. *In:* IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT, 2018, Bangkok. **Proceedings [...]**. Bangkok: IEEE, 2018. p. 1421-1425.

PUTTI, E. P.; OLIVEIRA, N. B.; SCHMIDT, C. E. Algoritmos genéticos com chaves aleatórias: desempenho de duas variantes na resolução do problema do caixeiro viajante. **Revista Fatec Zona Sul – REFAS**, v. 11, n. 4, 2025.

RIBEIRO, L. C. **Algoritmo evolutivo com metodologia híbrida para elaboração de rotas de distribuição**. 2019. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

RUBIM, R. P. **Algoritmo genético para o problema do caixeiro viajante: uma abordagem baseada em entropia para avaliação de 'genes' no Operador de cruzamento.** 2025. 75f. Monografia (Ciência da Computação), Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2025.

SALHI, M. S.; ALENEZI, A. H. Voice recognition enhancement by genetic algorithm. **Heliyon**, v. 10, n. 23, e38845, 2024.

SRINIVAS, M.; PATNAIK, L. M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 24, n. 4, p. 656-667, 1994.

TAUFER, F. S. G.; PEREIRA, E. C. Aplicação do problema do caixeiro viajante na otimização de roteiros. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31., 2011, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2011.

TSAI, H. K. *et al*. An Evolutionary Algorithm for Large Traveling Salesman Problems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 34, n. 4, p. 1718-1729, 2004.

VIKHAR, P. A. Evolutionary algorithms: A critical review and its future prospects. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON GLOBAL TRENDS IN SIGNAL PROCESSING, INFORMATION COMPUTING AND COMMUNICATION (ICGTSPICC), 2016, Jalgaon. **Proceedings [...]**. Jalgaon: IEEE, 2016. p. 261-265.

YAN, L.; DENG, H. Adaptive genetic algorithm for computer course scheduling system under the background of educational informatization. **Systems and Soft Computing**, v. 7, 200324, 2025.

YIN, N. Research on green logistics distribution path based on genetic algorithm. **Procedia Computer Science**, v. 261, p. 1036-1042, 2025.

YUEJUN, L. New search strategy for multi-objective evolutionary algorithm. **Heliyon**, v. 10, n. 24, p. e40917, 2024.