

A Metodologia de Lakatos e os Programas de Pesquisa do Caixeiro Viajante

Valdeir Francisco Oliveira Filho¹, Debora Coimbra²

Resumo

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV), tradução do inglês de Travelling Salesman Problem (TSP), é um dos mais famosos desafios na Teoria dos Grafos e da Otimização Combinatória. O objetivo é encontrar o circuito Hamiltoniano de menor custo em um grafo, considerando a menor distância euclidiana. A complexidade do TSP levou ao desenvolvimento de métodos heurísticos, frente à inexistência de um algoritmo eficiente de tempo polinomial para resolvê-lo. Este trabalho propõe realizar uma análise do TSP sob a luz da epistemologia de Imre Lakatos, especificamente utilizando a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica (MPPC). Esses programas são conjuntos de teorias e hipóteses que guiam a investigação científica em uma determinada área. O programa de pesquisa lakatosiano tem uma estrutura central, que consiste em um "núcleo duro" de ideias fundamentais que são protegidas de serem descartadas, e um "cinturão protetor" de hipóteses auxiliares que podem ser modificadas ou abandonadas para proteger o núcleo duro de desafios empíricos. A abordagem lakatosiana oferece uma perspectiva sofisticada sobre a evolução da ciência, destacando a importância de avaliar a pesquisa científica em seu contexto mais amplo.

Palavras-chave: Caixeiro Viajante, Otimização Combinatória, Teoria dos Grafos, Imre Lakatos, Metodologia Científica.

Recebido em: 30/09/2023; Aceito em: 25/10/2024

<https://doi.org/10.5335/rbecm.v7i2.15269>

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

ISSN: 2595-7376

¹ Mestre de Ensino de Ciências e Matemática – UFU, Especialista em Ciência de Dados e Big Data PUC Minas, Professor de Computação e Técnico de Laboratório em Informática UFU. Email: valdeirfilho@ufu.br

² Doutora em Ciências pela UFSCar, Professora Associada na UFU (Física, Ensino de Física e Formação de Professores), Email: debora.coimbra@ufu.br

O Caixeiro Viajante

Os caixeiros-viajantes eram profissionais que viajavam frequentemente para oferecer uma ampla variedade de produtos e serviços a clientes de instâncias longínquas. Comercializavam desde utensílios domésticos a roupas e ferramentas. Visitavam residências, empresas e estabelecimentos comerciais em localidades como cidades, vilarejos e fazendas, buscando clientes interessados. A natureza de seu trabalho exigia que percorressem longas distâncias e, também, comunicação e persuasão hábeis para defender a qualidade de seus produtos e, as vantagens de se realizar um bom negócio. Essa profissão tem diminuído com o advento do comércio eletrônico e das lojas de departamento, embora ainda persista em algumas regiões do país.

Figura 1: Vendedor Caixeiro no Brooklyn - NYC, ilustração artística. Créditos: Berenice Abbott.



Fonte: <https://www.artnet.com/artists/berenice-abbott/traveling-tin-shop-brooklyn-DcTZiPsa2QVXkecij9734A2>

O ofício em questão inspirou um dos problemas mais famosos da

otimização combinatória: o Traveling Salesman Problem (TSP), em livre tradução o Problema do Caixeiro Viajante. Este é estudado há mais de um século e consiste em encontrar a rota de menor custo para se visitar um grupo de cidades e retornar ao ponto de partida. Neste trabalho, optou-se pelo TSP de natureza simétrica, o que significa que viajar da cidade A para a B tem o mesmo custo que viajar de B para A, e a solução é determinada pela ordem em que as cidades são visitadas.

Embora o enunciado do problema seja simples, sua resolução é complexa. Classificado como NP-completo, há fortes evidências de que não existe um algoritmo polinomial capaz de solucioná-lo. Dumitrescu e Stützle (2003) indicam que este tipo de problema é solúvel em tempo polinomial por um algoritmo não-determinístico, mas, não o é, necessariamente, por um determinístico.

Diante desse cenário, o problema do TSP tem atraído o interesse de pesquisadores de diversas áreas ao longo dos anos, incluindo matemática, pesquisa operacional e inteligência artificial. Esse interesse deve-se tanto à natureza desafiadora do problema quanto à sua ampla aplicabilidade prática em variados contextos Dorđević, (2008).

Pairam algumas incertezas sobre a origem formal do problema do TSP Applegate, (2007). É possível encontrar alguns trabalhos semelhantes, como o do matemático irlandês William Rowan Hamilton, formalizado pela primeira vez no século XIX e pelo matemático britânico Thomas Penyngton Kirkman. A Figura 2 ilustra um exemplar do jogo Dodecaedro de Hamilton, equivalente ao TSP com 12 cidades, cujo objetivo era percorrer cada face do objeto e retornar ao ponto de partida.

Figura 2: Jogo Icosiano, exemplar do dodecaedro de Hamilton



Fonte: Universidade de Waterloo CA Disponível em: <https://www.math.uwaterloo.ca/tsp/history/>

Ainda em relação à origem formal do TSP, segundo Applegate (2007), na década de 1920, o matemático e economista Karl Menger compartilhou o TSP com seus colegas em Viena. Nos anos 1930, ressurgiu nos círculos matemáticos de Princeton. Em 1940, foi estudado por estatísticos (Mahalanobis, 1940; Jessen, 1942; Gosh, 1948; Marks, 1948 apud Applegate, 2007), em conexão com uma aplicação agrícola, e o matemático Merrill Flood o popularizou entre seus colegas na RAND Corporation. Flood (1956, idem), cujo trabalho teceu uma análise sobre a complexidade de uma solução exata do TSP, demonstrou que problema do vendedor ambulante pertence à classe de problemas do tipo NP (Nondeterministic Polynomial). A primeira solução foi proposta por Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954, idem), sendo a partir daí, tema de inúmeras teses e artigos pelo mundo.

Métodos de solução do TSP

Dado o papel fundamental do problema em diversas aplicações especialmente nos campos de logística, transporte, roteamento e manufatura., inúmeras abordagens foram propostas ao longo do tempo, visando a obtenção de soluções eficazes. As estratégias utilizadas para resolver o TSP podem ser agrupadas em duas amplas categorias: Métodos Exatos e Métodos Heurísticos.

Os métodos exatos podem ser definidos como aqueles que são capazes de encontrar sempre uma solução ótima, neste caso, a rota de menor distância que visite todas as cidades uma única vez e retorne ao ponto de partida, num tempo de execução finito. Em relação às dificuldades de utilização de métodos exatos, Herrera (2007) menciona que "os pesquisadores interessados em resolver problemas práticos com esse tipo de procedimento, têm descrito tais algoritmos como impraticáveis". Os métodos heurísticos, por sua vez, constituem abordagens de resolução baseadas em estratégias aproximadas e regras práticas que buscam soluções de alta qualidade, ainda que não necessariamente a de menor custo. Este modelo de solução destaca-se pela significativa economia de tempo de processamento, mesmo na ausência da garantia de uma solução ótima.

Métodos Exatos

Um algoritmo exato é aquele que consegue encontrar a melhor solução possível para um problema em um tempo de execução finito, ou provar que não existe solução viável (Dumitrescu; Stützle, 2003). Uma abordagem intuitiva para encontrar a referida solução ideal é enumerar todas as possibilidades e selecionar aquela com o menor custo, método conhecido como força bruta. Essa abordagem torna-se, na maioria das

vezes, inviável do ponto de vista computacional, devido ao crescimento exponencial do número de possibilidades com o aumento do número de cidades. O esforço demandado é ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1: Contagem de permutações com a utilização do método exato.

Contagem de pontos	Contagem de maneiras possíveis
4	24
8	40 320
12	479 001 600
16	20 922 789 888 000
20	2 432 902 008 176 640 000
25	15 511 210 043 330 985 984 000 000

Fonte: Pico (2012).

Apesar da inviabilidade computacional desse tipo de método, outras estratégias foram desenvolvidas buscando reduzir o tempo de execução e garantir a obtenção de uma solução de menor custo de rota, como os algoritmos Branch and Bound (BB) e o Branch and Cut (BC).

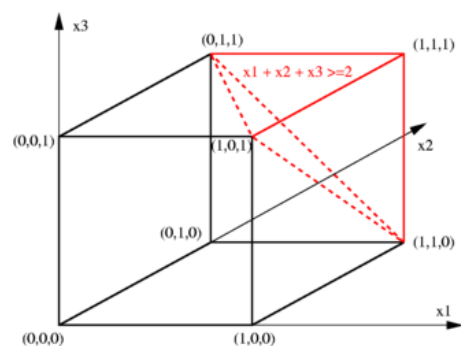
O primeiro tem como princípio de funcionamento a divisão do problema original em subproblemas menores, resolvendo-os recursivamente. Para cada um deles, o BB usa um limite inferior para descartar soluções que não podem ser ótimas. O método utiliza esse limite para eliminar ramos da árvore de busca que já excedem o valor encontrado até o momento, economizando tempo computacional. Novamente, ele divide os subconjuntos, obtendo outros menores que os primeiros, cada um representando uma escolha de rota.

A partir deste ponto, ele compara aqueles que têm um melhor resultado e define o melhor como um novo limite, e descartando os demais. Esse processo se repete até que não seja mais possível obter um novo limite, ou seja, um parâmetro melhor. Ao integrar essa técnica, o BB não

apenas evita a avaliação exaustiva de todas as soluções possíveis, mas também trabalha de maneira inteligente para focar em áreas mais promissoras, contribuindo para uma abordagem eficiente e eficaz na resolução de problemas desta natureza.

O segundo algoritmo, o BC, é uma extensão do BB, usando planos de corte para melhorar o limite inferior, como ilustrado na Figura 3. Um plano de corte é uma restrição (em geral dada por uma desigualdade linear, representada em vermelho na Figura 3) que é adicionada ao problema de relaxação para excluir soluções inviáveis. Os planos de corte são gerados usando um algoritmo de separação, que identifica restrições violadas pela solução de relaxação atual.

Figura 3: Representação do método Bounch and Cut ou Método de Planos de Corte



Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Cutting-plane_method

O BB e o BC são algoritmos de tempo exponencial, o que significa que o tempo de execução necessário para encontrar a solução ótima pode crescer exponencialmente com o tamanho do problema. A escolha entre o BB e o BC depende de uma série de fatores, incluindo o tamanho do problema e a disponibilidade de recursos computacionais.

Métodos Heurísticos

Dada a elevada complexidade de se encontrar uma solução exata para o TSP, várias abordagens heurísticas foram desenvolvidas para obter soluções aproximadas de qualidade satisfatória. Essas abordagens, embora não garantam a solução ótima, podem ser altamente eficientes em problemas de grande porte. Assim, espera-se que, considerando as restrições do problema, a solução encontrada seja viável e atenda às expectativas do usuário. Sobre essas, Osman (1996, pág. 3) define que:

Uma heurística é uma técnica que busca boas soluções, isto é, soluções próximas do ótimo, com um custo computacional razoável sem garantir a otimalidade, e possivelmente a viabilidade. Inoportunamente pode não ser possível determinar quão próximo uma solução heurística em particular está da solução ótima.

Quando se trata de problemas de grande porte, a resolução por meio de métodos exatos é ainda mais complexa, o principal desafio enfrentado na resolução de problemas de otimização combinatória é o considerável esforço computacional necessário para atingir a solução ideal. Para abordar problemas de otimização combinatória em larga escala, os métodos heurísticos oferecem soluções aproximadas à ótima, com maior velocidade e flexibilidade de implementação, afirma Casado (2007).

Tempo de execução e maleabilidade são dois fatores importantes a serem considerados na escolha de uma heurística. Heurísticas com menor tempo de execução são mais adequadas para problemas de grande porte, enquanto heurísticas mais maleáveis são mais apropriadas em casos com restrições específicas. Vale ressaltar que não é possível garantir que o resultado obtido pela heurística apresente a melhor solução, nem mesmo averiguar o quão distante esse resultado está da otimalidade (Chaves et al., 2007).

Desenvolvido por Fix e Hodges (1951), a heurística do K--Nearest Neighbors (KNN), traduzida como "Vizinho Mais Próximo", tem por princípio estabelecer um ponto de partida no grafo que representa as

idades a serem visitadas. A partir desse ponto de partida, o algoritmo seleciona o próximo vértice (ou cidade) que tem o menor peso, ou seja, a menor distância em relação ao vértice atual, desde que não tenha sido visitado. Essa heurística opera de forma incremental, adicionando um ponto de cada vez até que o roteiro completo seja formado. Esse processo é repetido até que todos os vértices mais próximos, com pesos mínimos, sejam adicionados à solução, sem repetições e está representado na matriz de soluções do Quadro 2.

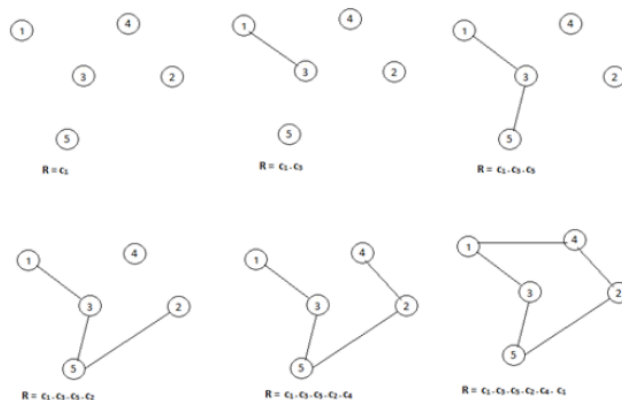
Quadro 2: Heurística KNN - Matriz de distâncias entre cidades.

Cidade	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0	15	6	12	9
C2	15	0	18	6	2
C3	6	18	0	11	5
C4	12	6	11	0	9
C5	9	2	5	9	0

Fonte: Adaptado de ĐORĐEVIĆ (2008)

Ao se desenvolver a heurística do KNN para o TSP, utilizando-se o Quadro 2, é possível se encontrar uma rota, que denominamos como R, com o seguinte percurso: C1 - C3 - C5 - C2 - C4 - C1, totalizando um tempo ($6+5+2+6+12 = 31$). A Figura 4 ilustra a inserção dos pontos até formar o caminho final, sendo C1 escolhido para ser o ponto de partida.

Figura 1 - Rota prevista por KNN



Fonte: ĐORĐEVIĆ (2008)

O algoritmo de Lin-Kernighan (LK) é outra heurística capaz de resolver o problema o TSP em grafos ponderados. O algoritmo foi desenvolvido por Johnson e van Zuylen, mas recebeu o nome de Lin e Kernighan, em razão das melhorias e popularidade que estes deram ao algoritmo. A ideia principal por trás do algoritmo de LK é a otimização iterativa. Partindo^{3[08]}, especificamente, 2-opt, que consiste em remover duas arestas de uma rota e inseri-las novamente de forma cruzada, de modo a criar uma rota com menor custo. O algoritmo continua a fazer trocas até que não seja mais possível melhorar a solução.

Essas trocas são escolhidas de forma inteligente, explorando uma estrutura de dados chamada grafo de ganhos, que armazena informações sobre quais trocas são promissoras. É uma das heurísticas mais eficientes para esse problema, e é frequentemente usada como benchmarking para

³ O algoritmo k-opt é uma técnica de otimização onde k representa o número de arestas removidas e inseridas para melhorar uma solução existente. Ele é uma abordagem de busca local que visa melhorar soluções através de reconfigurações de caminhos ou rotas.

comparar outras técnicas de solução. O algoritmo é eficiente e geralmente encontra soluções de boa qualidade para uma ampla gama de problemas do caixeiro-viajante.

Nos anos 2000, Helsgaun fez várias melhorias significativas no algoritmo LK para otimização do TSP, sua implementação ficou conhecida como Lin-Kernighan-Helsgaun (LKH). Uma das principais otimizações ocorreu na estrutura de dados, baseando-a em uma representação de segmentos. Um segmento é um subconjunto de um circuito hamiltoniano que é definido por um par de vértices iniciais e finais. Os segmentos são armazenados em uma estrutura de dados baseada em árvores, otimizando o acesso e a manipulação de informações de maneira mais rápida e eficiente.

O LKH é projetado para explorar várias técnicas de otimização, incluindo movimentos de 2-opt e 3-opt, bem como a reversão de segmentos para encontrar melhorias locais. Ao fazer isso, o algoritmo procura constantemente maneiras de encurtar o circuito hamiltoniano, melhorando assim a solução do TSP.

Essas otimizações na estrutura de dados e na lógica do algoritmo LKH, o tornam uma ferramenta poderosa para resolver instâncias complexas do TSP de maneira eficiente. Ele é amplamente utilizado em situações de aplicação de interesse, como em pesquisa operacional e logística para encontrar rotas ótimas, proporcionando otimização de tempo e recursos em processos de planejamento.

Em resumo, o LKH é uma versão avançada da heurística LK para resolver o TSP, incorporando melhorias como critérios de aceitação, estratégias de perturbação, exploração de árvores de extensão, tornando-o mais eficaz na busca de soluções de alta qualidade. O TSP emerge como um desafio complexo, envolvendo a busca pela rota mais eficiente ao passar por um conjunto de cidades e retornar ao ponto de partida,

minimizando a distância total percorrida num tempo computacional finito. Após essa breve digressão histórica por diferentes métodos, abordamos uma perspectiva epistemológica para sua análise à luz da metodologia dos programas de pesquisa científica de Lakatos.

Imre Lakatos

Imre Lakatos foi um filósofo e matemático que se destacou por suas contribuições à filosofia da ciência e da matemática, a partir da segunda metade do século XX. Nasceu em 1922 em Debrecen, na Hungria, com o nome Imre Lipschitz, natural de uma família judia. Formou-se em matemática, física e filosofia na Universidade de Debrecen em 1944.

Durante o regime socialista na Hungria, Imre modificou seu nome, passando a adotar o sobrenome “Lakatos”, que em húngaro significa serralheiro. O termo Lakatos apresenta duas possíveis origens. Uma delas pode ser atribuída à sua convicção ideológica comunista, o sobrenome seria uma reverência à classe trabalhadora, em especial aos serralheiros. Outra hipótese seria uma homenagem ao general "Géza Lakatos", que liderou a retirada das tropas alemãs da Hungria em 1944 (Connor; Robertson, 2003).

Lakatos escreveu em 1947, na Universidade de Debrecen, sua primeira tese de doutorado, intitulada “Aspectos sócio-históricos da formação dos conceitos na ciência”. Posteriormente, estudou na Universidade Estatal de Moscou com a matemática Sofya Yanovskaya. Fugiu para Viena após a invasão soviética e se estabeleceu em Londres, onde obteve seu doutorado em filosofia na Universidade de Cambridge em 1961, sob a orientação de Karl Popper (1902-1994), considerado um dos maiores filósofos da ciência do Século XX.

Foi professor da London School of Economics LSE, durante este período imergiu nas discussões acerca da natureza e do método da ciência, estabelecendo relações tanto profissionais quanto pessoais com alguns dos principais protagonistas desse debate. Dentre eles, destacam-se Karl Popper, seu orientador, e de maneira especial, Paul Feyerabend, com quem nutriu uma amizade profunda e altamente produtiva. O livro “Proofs and refutations”, publicado após a sua morte, é baseado em seu trabalho de doutorado em Cambridge.

Lakatos e Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica

Os programas de pesquisa (PP), segundo Lakatos, podem ser definidos como um aparato lógico-metodológico cuja unidade básica de avaliação é a série de teorias testáveis geradas em seu cerne (Musgrave e Pingden, 2016). São capazes de fornecer um quadro para a investigação científica, ajudando a determinar o que é considerado conhecimento válido dentro de um programa. Para o autor (Lakatos, 1970, p. 69)

A história das ciências tem sido, e deve ser, uma história de programas de investigação competitivos (ou, se quiserem, de “paradigmas”), mas não tem sido, nem deve vir a ser, uma sucessão de períodos de ciência normal: quanto antes se iniciar a competição, tanto melhor para o progresso.

Um PP é definido por seu núcleo central, ou “núcleo duro”, que serve como base sólida e inquestionável para o desenvolvimento das investigações. Esse núcleo é caracterizado por dois componentes fundamentais: afirmações metafísicas e a noção de continuidade. As afirmações metafísicas são proposições assumidas como “indiscutíveis” dentro do contexto da pesquisa, não por serem empiricamente verificáveis, mas devido a considerações metodológicas e ao papel que desempenham na sustentação do programa. Tais declarações funcionam como fundamentos

inabaláveis que os pesquisadores tomam como certos, estabelecendo um ponto de partida essencial para o avanço das teorias e métodos. Essas proposições metafísicas fornecem uma base fixa, a partir da qual as hipóteses auxiliares e os métodos experimentais podem ser refinados ao longo do tempo.

A noção de continuidade, por sua vez, enfatiza que o desenvolvimento de um PPC não ocorre de maneira abrupta ou isolada, mas sim como uma construção gradual e acumulativa de conhecimento. No contexto lakatosiano, a continuidade implica que os pesquisadores devem buscar aprimorar as teorias existentes sem abandonar imediatamente o núcleo central do programa, mesmo quando confrontados com anomalias. Esse compromisso com a continuidade permite que o programa evolua, promovendo o progresso científico ao integrar novos conhecimentos e solucionar inconsistências, sem que o PPC perca sua identidade central.

A Visão do Programa de Pesquisa Científica sobre o Caixeiro Viajante

O Programa de Pesquisa de Lakatos, aplicado ao TSP, fundamenta-se em um núcleo consolidado de princípios da otimização combinatória, no qual as decisões são orientadas por restrições específicas. Para Lakatos, a competição entre diferentes programas de pesquisa é essencial para o progresso científico. É importante destacar que os métodos de resolução do TSP podem ser vislumbrados como programas de pesquisa científica, nos quais os pesquisadores dedicam-se a aprimorar suas abordagens constantemente, o que gera avanços regulares na resolução do problema.

À luz da metodologia de Lakatos, o núcleo central desse programa de pesquisa poderia ser definido pelas afirmações metafísicas que podem incluir a premissa de que a solução ótima existe, ou seja, há uma rota que

minimiza a distância total. Essa afirmação é fundamental para estabelecer a base do conhecimento sobre a qual os pesquisadores desempenham seu papel.

O núcleo duro consiste na definição fundamental do TSP como a busca pelo menor caminho que visita todas as cidades uma vez e retorna à origem, além do reconhecimento do problema como NP--difícil. Este núcleo é protegido por um cinturão de hipóteses auxiliares e heurísticas.

As hipóteses auxiliares incluem suposições como o uso de distâncias euclidianas, reduções e transformações do problema, além de distinções entre distâncias simétricas e assimétricas. O KNN, o LK e o LKH se encontram no cinturão de heurísticas, além dos algoritmos exatos como o de força bruta, o BB e o BC. O cinturão protetor é reforçado por modelos que oferecem soluções eficientes para o TSP, mesmo que não garantam a solução ótima. Essa abordagem reflete a natureza dinâmica e adaptativa da pesquisa em otimização e algoritmos, novas técnicas são continuamente desenvolvidas e integradas.

A noção de continuidade desempenha um papel fundamental na resolução do TSP, pois, à medida que os pesquisadores buscam aprimorar as soluções, eles constroem recorrentemente sobre o conhecimento previamente adquirido, avançando no desenvolvimento de métodos cada vez mais eficientes. Sob a perspectiva lakatosiana, o cerne do programa de pesquisa para o TSP está na otimização de rotas, a redução de despesas constituindo o principal fator a ser observado na aplicação do problema.

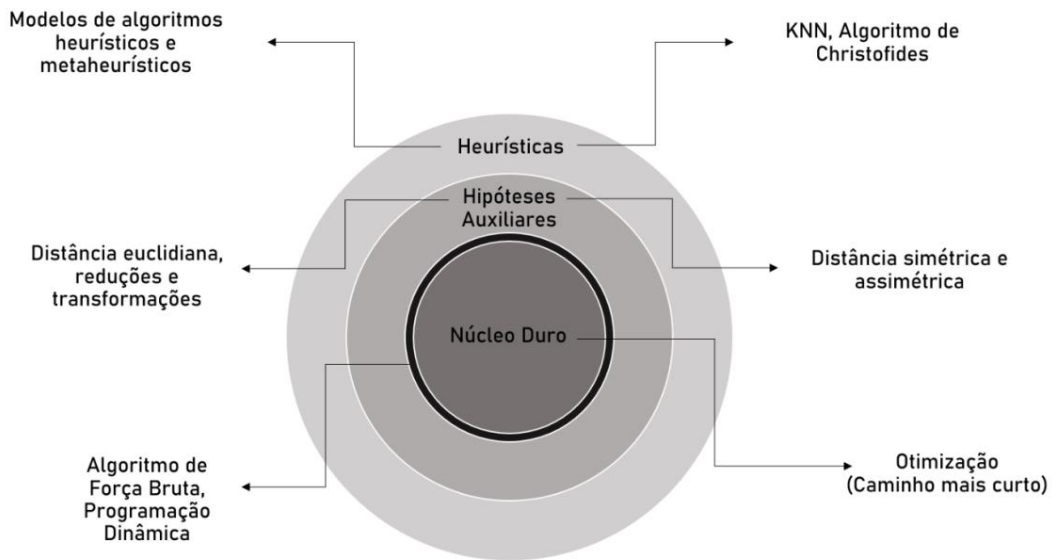
No entanto, essa otimização não se limita apenas à minimização da distância total percorrida. Outros fatores, como restrições de tempo, custos de transporte e preferências logísticas, podem influenciar a definição da rota ideal. Essas variantes adicionam camadas de complexidade ao problema, exigindo abordagens que considerem múltiplos objetivos de forma simultânea.

Considerações finais

O TSP representa um dos desafios mais profundos e amplamente aplicáveis de otimização combinatória, um campo que se tornou crucial em diversas áreas, incluindo logística, inteligência artificial e ciência da computação. Ao longo deste estudo, explorou-se a relevância dos métodos exatos e heurísticos, destacando-se as abordagens baseadas no Branch and Bound, Branch and Cut, K-Nearest Neighbors e o sofisticado algoritmo de Lin-Kernighan-Helsgaun. Cada técnica apresenta particularidades que permitem sua adaptação a diferentes contextos práticos, confirmando a importância da diversidade metodológica para resolver instâncias específicas do problema.

Sob a perspectiva da metodologia dos Programas de Pesquisa Científica de Lakatos, o TSP ilustra a adequação da aplicação do método. O problema pode ser traduzido num núcleo central estável que, ainda que contestado por anomalias, guia a continuidade dos avanços científicos e metodológicos. Este núcleo metafísico, que defende a existência de uma rota ótima, fornece a base para que aprimoramentos e soluções alternativas sejam investigados. A continuidade do programa, por meio da incorporação de soluções mais robustas e eficientes, destaca a importância de uma evolução gradual, que respeite a estrutura essencial do problema enquanto explora novas fronteiras para a construção do conhecimento.

Figura 5 – Entendimento do TSP segundo a MPPC



Fonte: De autoria própria.

Assim, este trabalho reafirma o TSP como um programa de pesquisa dinâmico e em constante desenvolvimento, cujo impacto vai além da academia e atinge diretamente os processos de tomada de decisão e gestão de recursos no cotidiano. A natureza desafiadora do TSP continuará a inspirar novas pesquisas, à medida que cientistas e engenheiros trabalham para superar suas limitações e maximizar sua aplicabilidade. Por fim, a aplicação da metodologia lakatosiana ao TSP reforça a relevância do núcleo central e da continuidade no progresso científico, destacando o valor de abordagens concorrentes que respeitem a tradição de pesquisa e, simultaneamente, incentivem a inovação.

Lakatos' Methodology and the Traveling Salesman Research Programs

Abstract

The Traveling Salesman Problem (TSP) is one of the well-known problems in Graph Theory and Combinatorial Optimization. The aim is to minimize the Euclidean distance in order to find the least-cost Hamiltonian circuit in a graph. There is no effective polynomial-time algorithm to solve the TSP, which has led to the development of heuristic approaches. Using the Methodology of Scientific Research Programs (MSRP), this research offers an analysis of the TSP from the perspective of Imre Lakatos' epistemology. Research programs are sets of theories and hypotheses that guide scientific inquiry in a given area. A "hard core" of essential concepts that are impervious to criticism and a "protective belt" of auxiliary hypotheses that can be changed or abandoned to shield the hard core from empirical challenges make up the primary framework of a Lakatosian research program. The Lakatosian approach emphasizes the significance of evaluating scientific research within its larger context and provides a sophisticated viewpoint on the development of knowledge.

Keywords: Traveling Salesman, Combinatorial Optimization, Graph Theory, Imre Lakatos, Scientific Methodology.

Referências

APPLEGATE, David L.. **The Traveling Salesman Problem: A Computational Study**. Feira: Princeton University Press, 2007.

CASADO, S. et al. **Grouping products for the optimization of production processes: A case in the steel manufacturing industry**. European Journal of Operational Research, v. 286, n. 1, p. 190 - 202, 2020. ISSN 0377-2217.

CHAVES, Antonio Augusto; DE ASSIS CORREA, Francisco; LORENA, Luiz Antonio N. Clustering search heuristic for the capacitated p-median problem. **Innovations in Hybrid Intelligent Systems**, p. 136-143, 2007.

ĐORĐEVIĆ, Milan. Influence of grafting a hybrid searcher into the Evolutionary Algorithm. 2008.

DUMITRESCU, Irina; STÜTZLE, Thomas. Combinations of local search and exact algorithms. In: **Workshops on Applications of Evolutionary Computation**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003. p. 211223. https://doi.org/10.1007/3540_366059_20

FIX, Evelyn; HODGES, Joseph L. **Discriminatory analysis. Nonparametric discrimination: Small sample performance. Report A**, v. 193008, 1951.

LAKATOS, Imre. O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica. In: LAKATOS, Imre; MUSGRAVE, Alan (org.). **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**. São Paulo: Cultrix, 1979.

MUSGRAVE, Alan; PIGDEN, Charles. **Imre Lakatos**. 2016.

O'CONNOR, J. J.; ROBERTSON, E. F. Georg Ferdinand Ludwig Philipp Cantor. 2003. Disponível em: <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies> Último acesso em: 04abr. 2023