

PLANEJAMENTO DE ROTAS PARA LEITURA DE MEDIDORES: UMA APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CARTEIRO CHINÊS

ROUTE PLANNING FOR METER READING: AN APPLICATION OF THE CHINESE POSTMAN PROBLEM

PLANIFICACIÓN DE RUTAS PARA LA LECTURA DE MEDIDORES: UNA APLICACIÓN DEL PROBLEMA DEL CARTERO CHINO

Lucas Corrêa Possar¹
Carise Elisane Schmidt²

Artigo recebido em dezembro de 2023
Artigo aceito em fevereiro de 2024

DOI: 10.26853/Refas_ISSN-2359-182X_v10n04_02

RESUMO

Alocar de forma eficiente mão de obra e recursos, garantindo a cobertura de determinada área geográfica e minimizando os custos operacionais, é um desafio que contempla empresas ligadas ao fornecimento de serviços essenciais, como água, gás e energia elétrica. Visando considerar a problemática de gerar rotas para realizar a leitura de medidores de determinada região, foi proposto este estudo. O objetivo foi simular um serviço de leitura, com base em dados geográficos reais, e obter um trajeto fechado de atendimento que garanta a cobertura de todos os medidores, e onde a distância total percorrida seja mínima. Instâncias de teste, baseadas em dados reais, foram geradas. O problema foi modelado como um Problema do Carteiro Chinês não direcionado e resolvido por meio de programação linear, usando um *solver* comercial. A partir da solução gerada pelo modelo, foi aplicado um algoritmo para obtenção do sequenciamento de atendimento. Os resultados mostraram que, para as instâncias criadas, que contemplaram até 200 vértices e 634 arcos, a metodologia aplicada foi eficiente, gerando a solução ótima de forma rápida.

Palavras-chave: Otimização combinatória; Programação linear; Roteamento em Arcos.

ABSTRACT

Efficiently allocating labor and resources, ensuring coverage of a specific geographical area, and minimizing operational costs are challenges faced by companies providing essential services such as water, gas, and electricity. We propose this study to consider the problem of creating optimal routes for meter reading in a given region. The goal is to simulate a meter reading service using geographic data and to generate a closed service route that guarantees coverage of all meters while minimizing the total distance traveled. Test instances, based on real data, are generated. The problem is modeled as an

¹ Discente do curso de Engenharia de Controle e Automação. Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: lucas.cp12@aluno.ifsc.edu.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5234197952649545>. Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-9587-5519>.

² Doutora em Métodos Numéricos em Engenharia. Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: carise.schmidt@ifsc.edu.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7888830128804858>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2274-1953>.

undirected Chinese Postman Problem and solved by linear programming using a commercial solver. Then, we apply an algorithm to the solution generated by model to determine the service sequence. For the instances created, encompassing up to 200 nodes and 634 arcs, the results demonstrated that our approach is efficient and is able to provide the optimal solution quickly.

Keywords: Combinatorial Optimization; Linear Programming; Arc Routing.

RESUMEN

Asignar de manera eficiente mano de obra y recursos, garantizando la cobertura de una determinada área geográfica y minimizando los costos operativos, es un desafío que afecta a empresas relacionadas con la prestación de servicios esenciales, como agua, gas y energía eléctrica. Con el objetivo de abordar la problemática de la generación de rutas para la lectura de medidores en una región específica, se propuso este estudio. El objetivo era simular un servicio de lectura, utilizando datos geográficos reales, y obtener una ruta cerrada de atención que asegurara la cobertura de todos los medidores, minimizando la distancia total recorrida. Se generaron instancias de prueba basadas en datos reales. El problema se modeló como un Problema del Cartero Chino no dirigido y se resolvió mediante programación lineal, utilizando un solucionador comercial. A partir de la solución generada por el modelo, se aplicó un algoritmo para obtener la secuencia de atención. Los resultados mostraron que, para las instancias creadas, que incluyeron hasta 200 vértices y 634 arcos, la metodología aplicada fue eficiente, generando la solución óptima de manera rápida.

Palabras clave: Optimización combinatoria; Programación lineal; Enrutamiento en arcos.

1 INTRODUÇÃO

O fornecimento de água, gás e energia elétrica é um serviço público essencial que, no Brasil, é disponibilizado para a população por meio de empresas concessionárias de serviços públicos e fiscalizado pelas agências reguladoras (BRASIL, 2005). A prestação e manutenção desses serviços requer um trabalho contínuo e minucioso de monitoramento e controle, que inclui a coleta regular e precisa de dados por meio da leitura de medidores (LIMA, 2021). Na maior parte dos casos, as empresas realizam essa leitura de forma manual, executando-a mês a mês para todos os consumidores, como forma de garantir uma cobrança correta (APARECIDO, 2018).

Contudo, realizar um serviço de coleta eficaz, especialmente em grandes centros urbanos, representa um grande desafio logístico para essas empresas (SILVA, 2020). Isso porque as redes de medidores podem ser extremamente complexas e extensas, aumentando significativamente a dificuldade de operacionalizar as leituras de forma eficiente (APARECIDO, 2018).

É nesse contexto que emerge o problema logístico de otimização de rotas e cobertura de arcos. Ele tem como desafio alocar de forma eficiente leituristas e recursos, tais como veículos e equipamentos, garantindo a cobertura de determinada área geográfica, além de minimizar custos operacionais, tais como tempo de deslocamento e consumo de combustível, reduzindo emissões de carbono e mantendo a qualidade do serviço prestado (LIMA, 2021).

Resolver este problema de forma eficaz não gera apenas economia de recursos, mas também afeta diretamente a precisão da emissão de faturas, mantendo a conformidade regulatória. Em um contexto mais amplo, otimizar as rotas de leituristas, quando essas demandam a utilização de veículos, também é uma forma de contribuir para a sustentabilidade,

reduzindo o impacto ambiental por meio da redução no consumo de combustível e, conseqüentemente, na emissão de carbono.

Nesse contexto, o Problema do Carteiro Chinês (PCC) emerge como uma ferramenta para abordar o complexo desafio de otimizar as rotas de leituristas. Originalmente, este problema foi concebido como um desafio matemático abstrato da teoria dos grafos e, posteriormente, foi reconhecido pela sua relevância prática para tratar de diversas aplicações que envolvem a cobertura de arcos. Aplicado ao problema da leitura de medidores, o PCC possibilita encontrar rotas eficientes, que reduzam a distância e, conseqüentemente, o tempo de percurso, os custos operacionais e a emissão de poluentes e, ao mesmo tempo, garantam que os pontos de leitura sejam percorridos de maneira completa e oportuna.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é simular um serviço de leitura de medidores, com base em dados geográficos reais, e obter um trajeto fechado de atendimento que garanta a cobertura de todos os medidores, onde a distância total percorrida seja mínima.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Durante os últimos 60 anos, os Problemas de Roteamento (PR) têm atraído a atenção de pesquisadores e profissionais, por conta do grande impacto econômico e dos desafios matemáticos que envolvem o seu estudo e solução (CORBERÁN et al., 2021). Este tipo de problema está presente em diversas aplicações da área de logística, onde um roteamento eficiente é capaz de gerar economia de tempo e recursos, reduzindo assim os custos operacionais. Do ponto de vista matemático, os problemas de roteamento são problemas de otimização combinatória (CORBERÁN; PRINS, 2010) e, por conta disso, encontram na teoria dos grafos modelos capazes de representá-los.

Um grafo $G(V, A)$ é uma estrutura matemática composta por dois tipos de objetos: os vértices, representados por um conjunto não nulo V ; e as arestas, representadas por um subconjunto A de pares não ordenados de V (DIESTEL, 2017). Grafos são utilizados para representar conexões e redes e, por isso, podem ser usados para descrever uma malha viária urbana, presente em aplicações da área de logística que envolvem roteamento.

Em termos de classificação, é possível dividir os problemas de roteamento em duas classes: os Problemas de Roteamento em Nós (PRN) e os Problemas de Roteamento em Arcos (WØHLK; LAPORTE, 2018). No primeiro caso, os problemas consistem em determinar uma ou mais rotas em que alguns, ou todos, os nós do grafo sejam visitados. Já no segundo caso, o objetivo é determinar uma ou mais rotas em que alguns, ou todos, os arcos (ou arestas) do grafo sejam visitados. Apesar de, tradicionalmente, as pesquisas focarem mais nos PRN, a literatura em PRA têm crescido consideravelmente nos últimos anos (CORBERÁN et. al., 2021).

O problema de roteamento em arcos teve sua origem em 1736, com o estudo de Leonhard Euler acerca do problema das pontes de Königsberg (CORBERÁN; PRINS, 2010). No estudo, Euler avaliou a possibilidade de encontrar um caminho fechado que cruzasse cada uma das sete pontes, sem atravessar nenhuma delas mais que uma vez. Ele desenvolveu uma representação em grafo do problema e mostrou que ele não possuía solução. Euler afirmou que a existência desse caminho, em um grafo conectado e não direcionado, implicaria que todos os vértices deveriam ter grau par (EULER, 1953). Com isso, ele apresentou as condições

necessárias para a existência do que, posteriormente, foi definido como grafo Euleriano (ASSAD; GOLDEN, 1995).

Apesar da contribuição fundamental do estudo de Euler, ele não se preocupou com o custo associado à distância percorrida no percurso, quando o grafo não é euleriano. Essa problemática foi abordada apenas na década de 1960, pelo matemático chinês Meigu Guan (Mei-Ko Kwan), quando surgiu o Problema do Carteiro Chinês (PCC). Em contraste com o problema das pontes de Königsberg, cuja preocupação está apenas na existência de um caminho fechado em grafos eulerianos, o PCC aborda os grafos não eulerianos (EISELT; GENDREAU; LAPORTE, 1995). O objetivo do problema é encontrar um trajeto de custo mínimo que permita que um carteiro, saindo de uma agência, percorra todas as ruas designadas ao menos uma vez e retorne à agência de origem.

A partir dessa problemática, iniciou a investigação acerca do PCC. Nas últimas décadas, o problema e suas variantes têm recebido cada vez mais atenção, motivado pelo grande número de situações reais que podem ser modeladas desta forma. Entre as aplicações presentes na literatura, é possível citar problemas como a geração de rotas para carteiros (IRNICH, 2008); para coleta de lixo (VASCONCELOS, 2017); para patrulhamento de ruas (SHAFABI; HAGHANI, 2015); para leituristas (STERN; DROR, 1979); para inspeção e manutenção de linhas ferroviárias (YILMAZ; ÇODUR; YILMAZ, 2017); e para remoção de neve em vias públicas (LUKMAN et al., 2018).

Conforme as características do problema a ser modelado, o PCC pode assumir as características de um grafo não direcionado, direcionado ou misto (EISELT; GENDREAU; LAPORTE, 1995). Por exemplo, em uma malha viária que contém apenas ruas de mão dupla e quando o atendimento pode ser feito em qualquer sentido, o problema pode ser tratado como não direcionado. Já quando há ruas de mão simples ou o sentido do atendimento precisa ser considerado, ele pode ser modelado como direcionado. Por fim, quando as duas situações anteriores ocorrem, o problema é classificado como misto.

A modelagem e resolução computacional desses problemas pode ser realizada por meio de algoritmos e programação matemática, de forma exata e heurística. Segundo Papadimitriou (1976), os casos não direcionado e direcionado do PCC podem ser resolvidos em tempo polinomial, enquanto o caso misto é classificado como NP-completo, ou seja, não conhece solução em tempo polinomial. Conforme Ziviani (2019), o tamanho e as características ligadas às instâncias também exercem impacto direto na complexidade computacional do problema.

Nesta pesquisa, será abordado o Problema do Carteiro Chinês não direcionado, aplicado para obtenção de rotas para leituristas de medidores. O objetivo é simular uma situação prática, gerando instâncias de testes a partir de dados reais, e obter uma sequência de atendimento que garanta a cobertura de todos os medidores e minimize a distância total percorrida. A metodologia aplicada para garantir o atendimento deste objetivo está descrita na próxima seção.

3 MÉTODO

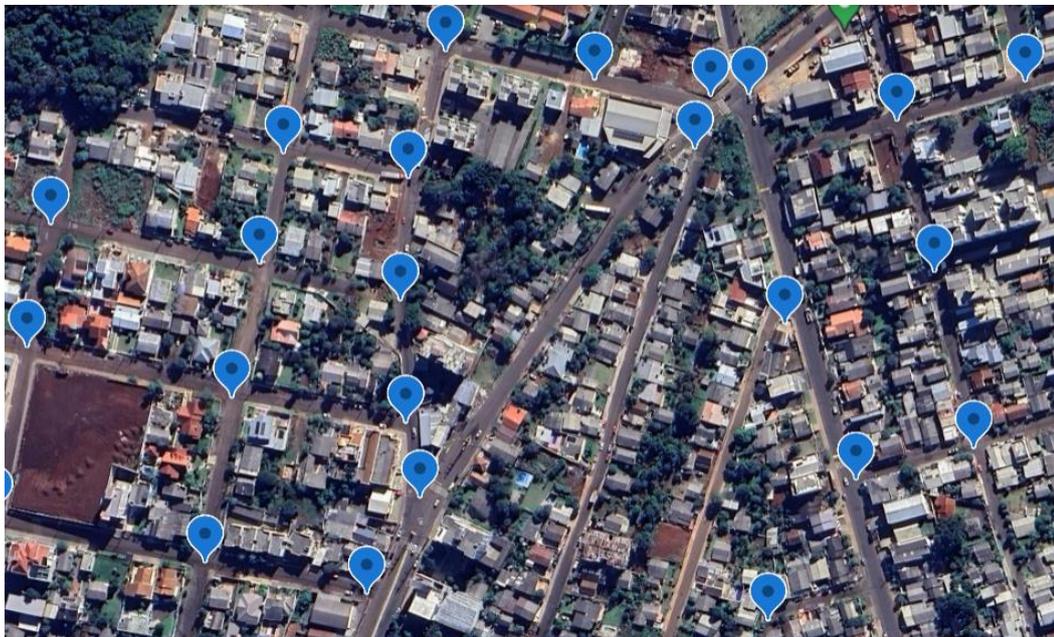
A metodologia usada para o desenvolvimento desta pesquisa foi dividida em 3 etapas principais: geração das instâncias de teste; definição e implementação computacional do modelo matemático; realização de testes computacionais e análise dos resultados. Cada uma dessas etapas é detalhada na sequência.

3.1 Instâncias de teste

As instâncias de testes foram geradas a partir de informações reais, relativas a três bairros da cidade de Chapecó, SC, de forma que cada instância corresponde a um desses bairros. Inicialmente, foi identificada a delimitação geográfica de cada bairro, cruzando as informações fornecidas pelo governo municipal com as informações disponibilizadas pelo *Google Maps*.

Em seguida, foram mapeadas todas as ruas e intersecções existentes em cada bairro e coletadas as coordenadas geográficas de latitude e longitude desses pontos. A Figura 1 ilustra parte do mapa de uma das regiões geográficas analisadas e as respectivas coordenadas geográficas mapeadas.

Figura 1 – Mapeamento das coordenadas geográficas



Fonte: Google Earth (2023)

Cada um dos pontos do bairro foi cadastrado, com as respectivas coordenadas geográficas obtidas pelo *Google Earth*, dadas em latitude e longitude, que é a referência para localização global. Em seguida, essas coordenadas foram transformadas em coordenadas cartesianas, que fornecem a distância métrica a partir de um ponto de referência. Para a conversão de coordenadas foram utilizadas as Equações 1 e 2.

$$x_i = r \cdot \cos\left(\frac{(90+lat)}{180} * \pi\right) \cdot \cos\left(\frac{(360-long)}{180} * \pi\right), \quad (1)$$

$$y_i = r \cdot \cos\left(\frac{(90+lat)}{180} * \pi\right) \cdot \sin\left(\frac{(360-long)}{180} * \pi\right), \quad (2)$$

Onde r representa o raio da terra; lat representa a latitude decimal e $long$ representa a longitude decimal. A partir das coordenadas (x_i, y_i) de cada ponto, foram calculadas as distâncias entre cada par de pontos, por meio da Equação 3.

$$d_{(i,j)} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

Em seguida, com base nas interseções entre as ruas foram geradas as matrizes de distância e de adjacência para cada um dos bairros analisados. Assim, cada instância de teste é descrita pelo número de vértices, seguido pelas coordenadas cartesianas de cada vértice e pela matriz de adjacências. As especificações de cada instância constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificação das características das instâncias de teste geradas

Bairro	Número de vértices	Número de arcos
1	128	342
2	145	448
3	200	634

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

3.2 Modelo Matemático

Na modelagem do problema, foram considerados apenas serviços que possam ser efetuados, indiferente do sentido do atendimento. Isso significa que, dados dois vértices quaisquer, i e j , o atendimento demandado pode ser executado tanto no arco (i, j) como no arco (j, i) . Dessa forma, o problema pode ser modelado como um Problema do Carteiro Chinês não-dirigido (PCCND), que tem como objetivo cobrir todos os arcos existentes no grafo, minimizando a distância total percorrida.

O PCCND é definido em um grafo $G(V, A)$, onde V representa o conjunto de vértices e A o conjunto de arcos. A cada arco $(i, j) \in A$ está associado um custo de travessia c_{ij} . Para encontrar uma rota que cubra todos os arcos e minimize a distância total percorrida, é possível aplicar um modelo de programação linear, conforme expresso nas equações de 4 a 7.

Seja x_{ij} uma variável inteira e não negativa, que indica quantas vezes o arco (i, j) é atravessado na solução. Define-se ainda c_{ij} como a distância associada a travessia do arco (i, j) .

$$\text{Min } \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}, \quad (4)$$

sujeito à:

$$\sum_{\substack{j \in V \\ j \neq i}} x_{ij} = \sum_{\substack{j \in V \\ j \neq i}} x_{ji}, \quad \forall i \in V, \quad (5)$$

$$x_{ij} + x_{ji} \geq 1, \forall (i, j) \in A, \quad (6)$$

$$x_{ij} \in N, \forall (i, j) \in A. \quad (7)$$

A função objetivo, expressa por (4), minimiza a distância total da rota. Restrições do conjunto (5) garantem a conservação de fluxo, ou seja, a continuidade da rota. Por meio do conjunto de restrições (6) é possível garantir que cada aresta seja atravessada pelo menos uma vez. Por fim, as restrições do conjunto (7) forçam a condição de integralidade e de não-negatividade da variável x_{ij} .

Após resolução das instâncias de testes pelo *solver* Gurobi, o algoritmo de Hierholzer foi aplicado, conforme Figura 2. O objetivo foi gerar o sequenciamento da rota, a partir dos valores obtidos para as variáveis x_{ij} na solução ótima do modelo.

Figura 2 – Algoritmo de Hierholzer

```

Entrada: Grafo  $G = (V, A)$ 
1 Escolha qualquer vértice  $v \in V$ ;
2 Construa um ciclo  $C$  a partir do vértice  $v$ , percorrendo as arestas de  $G$  de maneira
   aleatória;
3  $A_1 \leftarrow A \setminus C$ ;
4  $K \leftarrow (V, A_1)$ ;
5 enquanto  $A_1 \neq \emptyset$  faça
6   | Escolha um vértice  $v$  tal que  $d(v) > 0$  e  $v \in C$ ;
7   | Construa um ciclo  $H$  a partir do vértice  $v$ , percorrendo as arestas de  $K$  de
   | maneira aleatória;
8   |  $A_1 \leftarrow A_1 \setminus H$ ;
9   |  $C \leftarrow H \cup C$ ;
10  |  $H \leftarrow \emptyset$ ;
11 fim

```

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

3.3 Testes Computacionais

A leitura das instâncias de teste e o modelo matemático de programação linear, definido por (4) – (7), foram implementados em linguagem C++. Para resolver esse modelo, para cada uma das instâncias, foi utilizado o *solver* Gurobi 10.0.1 na versão acadêmica e em configuração padrão. Todos os testes computacionais foram conduzidos em uma máquina com processador Intel Core i7, rodando a 2.8 GHz, com 16 MB de memória instalada, em sistema operacional Windows 11 Pro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência serão apresentados os resultados obtidos com a realização dos testes computacionais descritos na Seção 3.3. A Tabela 2 sumariza os resultados que foram obtidos. A referência da instância é apresentada na primeira coluna, seguida, respectivamente, pelo valor ótimo da função objetivo e tempo de processamento (em segundos).

Tabela 2 – Resultados gerados pela aplicação do modelo matemático às instâncias de teste

Instância de teste	Solução ótima	Tempo de processamento (s)
1	26,8393	0,52
2	26,9525	0,39
3	37,8824	1,06

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que o modelo matemático de programação linear foi capaz de obter, de forma rápida, a solução ótima para todas as instâncias. Em todos os casos, o tempo computacional foi inferior a 2 segundos.

Contudo, a solução fornecida pelo modelo apenas indica o número de vezes que cada arco é atravessado, não fornecendo a sequência de cobertura da rota. Esse sequenciamento, a partir da solução gerada pelo modelo, foi obtido por meio da aplicação do algoritmo de Hierholzer. Assim, ao final, além de garantir a cobertura de arcos que produz a menor distância total, garantindo que todos sejam atravessados pelo menos uma vez, também foi obtido o sequenciamento deles, para execução da rota.

Com base nos resultados obtidos, observou-se que a metodologia adotada foi eficiente para tratar os dados de entrada fornecidos ao modelo, gerando uma solução ótima e em um curto espaço de tempo. Isso mostra como, com uso de uma metodologia simples, é possível otimizar um sequenciamento para leitura de medidores, reduzindo assim a distância percorrida e, conseqüentemente, o tempo de deslocamento e os possíveis custos associados com esses atendimentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido buscou modelar e resolver um problema prático, envolvendo cobertura de arcos, com o objetivo de gerar uma rota de custo mínimo que, saindo de um ponto inicial, atravesse todos as arestas pelo menos uma vez, e retorne ao ponto de partida. Nesta aplicação, considerou-se que a aresta poderia ser atravessada em qualquer sentido. Dados reais de três bairros da cidade de Chapecó foram gerados e utilizados como instâncias de teste. A aplicação foi tratada como um Problema do Carteiro Chinês não-direcionado e solucionada a partir de um modelo de programação linear. Utilizando um *solver* comercial, foi possível obter

soluções ótimas para três regiões com até 200 vértices e 634 arcos, em tempo computacional inferior a 2 segundos.

Por meio do algoritmo de Hierholzer foi possível gerar a sequência de travessia dos arcos, a partir da solução encontrada pelo modelo de programação linear. Essa etapa é crucial em situações práticas, onde o sequenciamento precisa ser executado.

O estudo mostrou como, aliando ferramentas matemáticas e computacionais, é possível otimizar a distância de execução de uma rota, considerando a cobertura de arcos. Isso indica como uma empresa, que executa serviços com as características aqui abordadas, pode otimizar a roteirização do seu atendimento e, com isso, melhorar a qualidade dos serviços prestado, tornando-o mais rápido, e reduzir possíveis custos de execução das rotas.

6 REFERÊNCIAS

APARECIDO, W. G. **Modelagem e heurísticas para problemas de roteamento de veículos com atendimento suficientemente próximo**. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

ASSAD, A. A.; GOLDEN, B. L. **Arc routing methods and applications**. In: BALL, M.O.; MAGNANTI, T.L.; MONMA, L.C.; NEMHAUSSER, G. L. (Eds). **Network Routing**. Elsevier, 1995 (Handbooks of Operations Research and Management Science, v. 8).

BRASIL. **Lei Nº 11.107, de 06 de abril de 2005**. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111107.htm Acesso em: 06 jun. 2023.

CORBERÁN, Á.; EGGLESE, R.; HASLE, G.; PLANA, I.; SANCHIS, J. M. **Arc routing problems: A review of the past, presente, and future**. **Networks**, v. 77, n.1, p. 88-115, 2021.

CORBERÁN, Á.; PRINS, C. **Recent results on arc routing problems: An annotated bibliography**. **Networks**, v. 56, p. 50-69, 2010.

DIESTEL, R. **Graph theory**. 5. ed. Berlin: Springer, 2017.

EISELT, H. A.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G. Arc routing problems, Part 1: The Chinese postman problem. **Operations Research**, v. 43, p. 231–242, 1995.

EULER, L. Leonhard Euler and the Königsberg bridges. **Scientific American**, v. 189, n. 1, p. 66-70, 1953.

GOOGLE EARTH. **Google Earth 10.35.3.4**, 2023. Disponível em: <https://www.earth.google.com/web> Acesso em: 14 mar. 2023.

GUROBI OPTIMIZER INC. **Gurobi Optimizer version 10.0.1** (programa), 2023. Disponível em: <https://www.gurobi.com> Acesso em: 28 mar. 2023.

IRNICH, S. Solution of real-world postman problems. **European Journal of Operational Research**, v. 190, p. 52–67, 2008.

LIMA, L. E. S. de. **Modelagem do roteamento de leituristas: uma abordagem *cluster first – route second* para o Problema do Carteiro Chinês Capacitado**. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

LUKMAN, R. K.; CERINŠEK, M.; VIRTIC, P.; HORVAT, B. Improving efficient resource usage and reducing carbon dioxide emissions by optimizing fleet management for winter services. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 1-11, 2018.

PAPADIMITRIOU, C. On the Complexity of Edge Traversing. **Journal of A.C.M.**, v. 23, n. 3, p. 544-554, 1976.

SHAFABI, A.; HAGHANI, A. Generalized maximum benefit multiple chinese postman problem. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 55, p. 261-272, 2015.

SILVA, A. A. da. **Uma abordagem heurística para o problema do carteiro chinês capacitado na coleta de lixo urbano**. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2020.

STERN, H. I.; DROR, M. Routing electric meter readers. **Computers & Operations Research**, v. 6, n. 4, p. 209-223, 1979.

VASCONCELOS, R. B. **O problema do carteiro chinês dirigido, não dirigido e misto para otimização de rotas com visualização gráfica da solução**. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.

WØHLK, S.; LAPORTE, G. A fast heuristic for large-scale capacitated arc routing problems. **Journal of the Operational Research Society**, v. 68, n. 12, p. 1877-1887, 2018.

YILMAZ, M.; ÇODUR, M. K.; YILMAZ, H. Chinese postman problem approach for a largescale conventional rail network in Turkey. **Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette**, v. 24, n. 5, p. 1471-1477, 2017.

ZIVIANI, N. **Projeto de algoritmos**. São Paulo: Cengage, 2019.