



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

RESUMO EMPRESARIAL DA DISSERTAÇÃO:

**MODELAGEM DO ROTEAMENTO DE LEITURISTAS: UMA ABORDAGEM
CLUSTER FIRST - ROUTE SECOND PARA O PROBLEMA DO CARTEIRO
CHINÊS CAPACITDO**

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

LUAN EMERSON SOARES DE LIMA

Orientador: Prof. Dr. Sóstenes Luiz Soares Lins

Recife
2021

INFORMAÇÕES PESSOAIS E ACADÊMICAS

Dados do Mestrando:

Luan Emerson Soares de Lima, nascido em 17 de agosto de 1993, Tuparetama, Pernambuco. Mestre em Engenharia de Produção, com foco em Pesquisa Operacional, pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGEP/UFPE) e graduado em Engenharia de Produção Plena pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG/CDSA). Durante o bacharelado participou de projetos de extensão (PROBEX) e pesquisa (PIVIC), também integrou o Programa Institucional de Monitoria, onde atuou como monitor das disciplinas de Resistência dos Materiais, Equações Diferenciais Lineares e Fenômenos de Transporte. Possui conhecimento em linguagens de programação orientadas a objetos. Programa em Python, Java Script e PHP. Tem interesses científicos e experiências em atividades que incluem os temas: Programação e Modelagem de Problemas, Simulação de Processos Produtivos, Decisão Multicritério, Sistemas de Apoio a Tomada de Decisão, Teoria dos Grafos e Otimização Combinatória. Durante o mestrado recebeu e desenvolveu a dissertação amparado por uma bolsa de fomento a pesquisa da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

E-mail: luanemerson8@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/5257019394210927>

Dados do Orientador:

Sóstenes Luiz Soares Lins é pesquisador Senior 1A do CNPq desde 2015. Bacharel (1972, aos 20 anos, Laureado) e Mestre (1974) em Matemática pela UFPE. Ph.D. em Combinatorics and Optimization - Univ. Waterloo (1980). Foi (1974-2011) professor do DMat/UFPE, Prof. Titular desde 1989 (aos 37 anos). Foi 1o. colocado no Concurso para Prof. Titular CIN/UFPE (2011). Possui substancial experiência de pesquisa em Matemática Pura e Aplicações, com ênfase em Topologia e Otimização Combinatória. As principais contribuições científicas estão publicadas no Annals of Mathematical Studies (Orange Series de Princeton, vol. 134 - com 463 citações na World Scientific Press, em Discrete Mathematics, no Journal of Combinatorial Theory, em Advances in Mathematics. A partir de 1984, desenvolveu softwares aplicados à Indústria.

E-mail: sostenes.lins@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/1018418114348974>

Banca Examinadora:

Dr. Sóstenes Luiz Soares Lins (Orientador) - Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Isis Didier Lins (Examinador Interno) - Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Emerson Alexandre de Oliveira Lima (Examinador Externo) - Universidade de Pernambuco

Artigo Publicado em Congresso Nacional:

LIMA, L. E. S.; LINS, S. L. S. Aplicação do problema do carteiro chinês não direcionado ao roteamento de leiturista em uma cidade do interior da Paraíba. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 40., Foz do Iguaçu, 2020. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu: ABEPRO, 2020.

RESUMO

O Problema de Roteamento de Leituristas (PRL) é um problema de otimização que contempla setores ligados ao fornecimento de gás natural, energia elétrica ou água encanada, onde empresas fornecedoras necessitam periodicamente mobilizar trabalhadores para vistoria e emissão de faturas dos pontos de consumo. O PRL trata as ruas da malha urbana estudada como arestas, às arestas estão relacionadas distâncias a serem percorridas, a essas arestas também estão associadas demandas de tempo para atravessamento e vistoria dos pontos de consumo. O PRL, por sua vez, consiste em encontrar rotas que minimizem a distância percorrida por leituristas dado uma carga de trabalho previamente atribuída, isso significa que as arestas dotadas de demandas de tempo para serem atravessadas e vistoriadas devem estar designadas aos leituristas buscando respeitar a carga de trabalho estabelecida. Por meio de uma revisão sistemática de literatura identificaram-se lacunas presentes na literatura, como o baixo número de publicações concernentes a técnicas de resolução do PRL. O presente trabalho propõe uma abordagem *cluster first – route second* para a resolução do PRL. A abordagem proposta é aplicada em duas fases, na primeira fase agrupa-se as ruas da localidade estudada em *clusters* por meio da aplicação do Problema das p -Medianas, a atribuição da demanda de cada rua ou segmento de rua aos *clusters* é limitada pela capacidade do leiturista, logo cada *cluster* corresponde a uma rota. Em uma segunda fase, a conectividade de cada *cluster* é verificada, caso o subgrafo de um *cluster* não seja conexo, as arestas que tornam esse subgrafo conexo são atribuídas e aplica-se o Problema do Carteiro Chinês. A abordagem proposta foi aplicada em duas localidades: um bairro da cidade de Recife e na cidade de Flores, ambas no Estado de Pernambuco. Para cada localidade foram criados cenários e situações, que serviram para realizar a análise de sensibilidade do modelo e permitir inferências. Verificou-se que, para a resolução do PRL em pequenas instâncias o modelo possui tempo de execução razoável, podendo ser aplicado a resolução do PRL em cidades e localidades de pequeno porte.

Palavras-chave: Teoria dos grafos. Otimização. Problema do carteiro chinês. Roteamento de leiturista.

ABSTRACT

Meter Reading Problem (MRP) is a combinatorial optimization problem that affects suppliers of natural gas, electricity or water, where companies need to periodically mobilize workers to inspect and bill consumption points. MRP treats the streets of the studied urban network as edges, edges are linked to the distances to be covered, and these edges are also associated with crossing time and time to bill consumption points. MRP seeks to find routes that minimize the distance covered by readers, given a previously assigned workload, this means that the edges endowed with time demands to be crossed and inspected must be assigned to readers in order to respect the established workload. Through a systematic review of the literature carried out in this work, gaps in the literature regarding techniques for solving the MRP were identified, therefore, the present work proposes a cluster first – route second approach to solve the MRP. The proposed approach is applied in two phases, in the first phase the streets of the studied location are grouped into conglomerates through the application of the p -Median Problem, the allocation of the demand of each road or road segment to the conglomerates is limited by the capacity of the reader, then each cluster corresponds to a route. In a second phase, the connectivity of each cluster is verified, if the subgraph of a cluster is not connected, the edges that make this subgraph connected are assigned and the routing is done through the Chinese Postman Problem. The proposed approach was applied in two locations: a neighborhood in the city of Recife and in the city of Flores, both locations are in the State of Pernambuco. For each location, scenarios and situations were created, which served to carry out the sensitivity analysis of the model and allow inferences. It was found that for the resolution of the MRP in small instances the model has reasonable execution time, therefore, the proposed approach can be applied in small cities and towns.

Keywords: Graph theory. Optimization. Chinese postman problem. Meter reading problem.

1. CONTEXTO E TEMA

Conforme Slack, Jones e Johnston (2016) a função central de qualquer empreendimento é a produção de bens e/ou serviços, com preços competitivos, que satisfaçam clientes, consumidores ou usuários. Para tanto, organizações requerem de seus sistemas produtivos uma eficiente capacidade de processamento, equilibrando a oferta de bens/serviços com elevado padrão de qualidade e a diminuição de custos operacionais. Haja vista que, o conceito de eficiência e a necessidade de melhoramento constante afeta organizações de caráter público ou privado, com ou sem fins lucrativos, de pequeno ou grande porte.

A modernização de setores ligados ao fornecimento de gás natural, energia elétrica ou água encanada passa pela instalação de medidores eletrônicos que possibilitem medição do consumo e faturamento à distância. Usberti, França e França (2012a) destacam que apesar de a tecnologia de telemedição ser eficiente e estar presente em economias desenvolvidas e algumas localidades ao redor do mundo, a substituição dos medidores depende de altos investimentos e demanda tempo e planejamento. Por outro lado, a força de trabalho humana que realiza a medição do consumo no Brasil mantém-se relativamente barata. Logo, o Problema de Roteamento de Leituristas (PRL) continua atual e extremamente relevante, visto que a atividade de leitura de consumo é realizada periodicamente, as unidades consumidoras estão espalhadas geograficamente ao longo de um território e muitas concessionárias não possuem uma política que estabeleça rotas para verificação do consumo, de modo a otimizar o caminho percorrido pelos leituristas.

A escolha de uma rota ótima para leitura ou o mais próximo possível disso seria preponderante para a minimização de custos ligados à contratação de pessoal, além de contribuir para a eficiência no planejamento das operações e faturamento do consumo. Trabalhos publicados por Usberti, França e França (2012a), Eglese, Golden e Wasil (2015) e Corberán et al. (2020) apontam o baixo número de pesquisas e trabalhos relacionados ao roteamento de leituristas presentes na literatura. Usberti, França e França (2012a), por sua vez, especificam a necessidade de desenvolvimento de mais estudos na área e a investigação de lacunas presentes na literatura.

2. PROBLEMÁTICA

Como lacunas, identificadas após a Revisão Sistemática de Literatura, pode-se destacar o baixo número de publicações referentes ao PRL e a inexistência de um método baseado no Problema das p -Medianas para agrupar e posteriormente roteirizar leituristas, garantindo que cada agrupamento é conexo. Diante disso, o presente trabalho propõe um procedimento baseado em uma abordagem *cluster first - route second* (agrupamento primeiro e roteamento depois) para a resolução do PRL e do Problema do Carteiro Chinês Capacitado (PCCC) associado ao problema. As ruas da localidade estudada são divididas em segmentos e tratadas como grafo não direcionado. Aos segmentos estão associadas demandas de vistoria expressas pela existência de pontos de leitura e custos de atravessamento expressos pela distância e tempo requerido para percorrer o segmento a pé. No procedimento proposto, a clusterização dos segmentos ocorre por meio da aplicação inicial do Problema das p -Medianas Capacitado, na fase de roteamento, verifica-se a conectividade do subgrafo associado a cada *cluster*. Caso o subgrafo de um *cluster* não seja conexo, acrescenta-se a aresta ou as arestas com peso mínimo que o tornam conexo. Dado o subgrafo de um *cluster*, realiza-se o roteamento do leiturista encontrando-se um circuito euleriano que inicia e termina em um mesmo vértice, para tanto aplica-se o Problema do Carteiro Chinês.

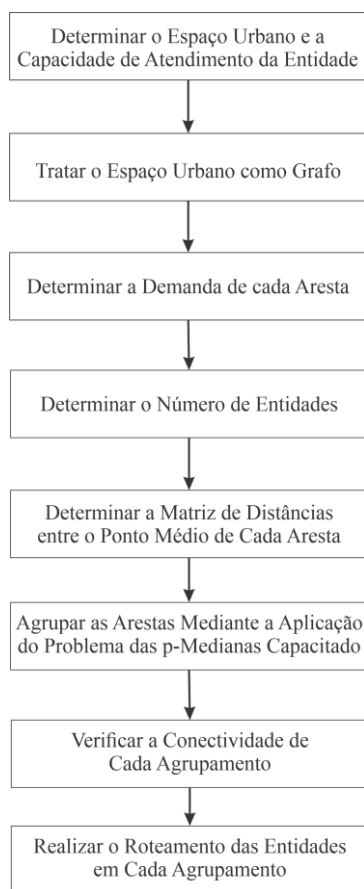
A abordagem proposta diferencia-se das publicações anteriores presentes na literatura para o tratamento do PRL pelo fato dos agrupamentos não possuírem um depósito aleatório em comum de onde as entidades que realizam o roteamento devem partir, dessa forma uma entidade não é obrigada a sair de um depósito e percorrer arestas desnecessárias para alcançar as arestas onde deve realizar o roteamento e depois retornar ao depósito.

Cabe salientar que a abordagem proposta incorpora características do modelo de PCCC de Golden e Wong (1981) como demanda positiva em todas as arestas, o percurso atribuído a cada leiturista tem o mínimo custo possível e as arestas do grafo são percorridas pelo menos uma vez por um conjunto de k leituristas idênticos cada qual dotado de uma capacidade conhecida Q fixa.

3. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) para a investigação do tema, embasamento do trabalho e proposição da abordagem de roteamento aplicada. A abordagem de roteamento proposta neste trabalho possui 8 passos sintetizados em duas fases, na primeira fase ocorre o agrupamento em *clusters* dos segmentos de rua da rede urbana estudada por meio do *gCpMP* (generic Capacitated *p*-Median Problem), os *clusters* resultantes correspondem a subgrafos do grafo original. Na segunda fase, a conectividade de cada subgrafo é testada. Caso o subgrafo não seja conexo, as arestas ou segmentos de rua do grafo original, que possuem o menor custo de atravessamento e tornam o subgrafo conexo são adicionadas ao agrupamento. Depois de tornar o subgrafo ou *cluster* conexo, realiza-se o roteamento por meio do Problema do Carteiro Chinês. Os oito passos da abordagem são apresentados no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Etapas de execução da abordagem cluster first – route second



Fonte: O autor (2020).

4. RESULTADOS OBTIDOS

O trabalho aplica a abordagem proposta a duas áreas urbanas, sendo elas, um bairro de pequeno porte na cidade de Recife e uma cidade do interior de Pernambuco.

A construção de cenários e situações para cada espaço urbano possibilitou a análise da sensibilidade da abordagem. Percebeu-se que o tempo de processamento para o solucionamento do Problema das p -Medianas aumentou com o número de medianas ou leituristas e instâncias (vértices e arcos). Apesar do problema das p -Medianas ser um problema NP - *difícil*, ele oferece uma solução ótima para pequenas instâncias em um espaço de tempo relativamente curto, conforme pode-se ver a aplicação da abordagem na cidade de Flores, o que torna a procedimento proposto adequada para cidades, bairros ou malhas urbanas de pequeno porte. Ao agrupar ruas onde pode-se realizar o movimento de ida e volta a abordagem reduz o espaço de soluções viáveis.

O Algoritmo Busca em Profundidade que testa a conectividade de cada *clusters* para cada cenário e situação no bairro de Engenho do Meio e na cidade de Flores ofereceu um tempo de processamento relativamente curto, variando em cerca de 1 segundo.

Ao testar a conectividade para ambos os territórios, a saber, Engenho do Meio e Flores (1 e 2), o subgrafo de alguns *clusters* associados aos territórios mostraram-se desconexos. Ao aplicar Algoritmo de Dijkstra Modificado e adicionar as arestas que tornam os *clusters* conexos, alguns agrupamentos excederam a capacidade de atendimento dos leituristas. O Algoritmo de Dijkstra Modificado também consumiu pouco tempo computacional durante a execução.

A aplicação do Algoritmo Busca em Profundidade e do Algoritmo de Dijkstra Modificado foi mostrado para cada *cluster* individualmente com o propósito de verificar o tempo que cada algoritmo exige para execução.

No Engenho do Meio para os 8 casos simulados 70 *clusters* foram obtidos, destes apenas 6 foram identificados como desconexos, dos 6 o total de 2 excederam a capacidade do leiturista ao tornarem-se conexos. Um deles excedeu a capacidade do leiturista em 2 minutos e outro em 9 minutos.

Para a cidade de Flores 1, 23 *clusters* foram observados, deste total 2 *clusters* foram identificados como desconexos e 1 deles excedeu em 1 minuto a capacidade do leiturista. Na cidade de Flores 2, 23 *clusters* também foram observados, deste total 2 *clusters* foram identificados como desconexos desses nenhum excedeu a capacidade ao tornarem-se conexos.

Dos 8 casos simulados no Engenho do Meio, o caso número 1 teve o *cluster* 1 com a capacidade excedida em 2 minutos, assim como o caso número 2, que teve o *cluster* 3 com a capacidade excedida em 9 minutos. Quando trata-se da cidade de Flores 1, dos 4 casos, o caso número 4 teve o *cluster* 2 com a capacidade do leiturista excedida em 1 minuto.

Na aplicação do Problema do Carteiro Chinês um arquivo em lp foi escrito em Python para cada *cluster* modelando o problema, o arquivo em lp foi introduzido como entrada no software SCIP. O tempo para escrever a modelagem matemática para cada *cluster* em lp foi inferior a 0.01 segundos e a resolução do PCC para cada agrupamento durou em média 1 segundo.

Como resultado do estudo do Problema de Roteamento de Leituristas e aplicação do Problema do Carteiro Chinês, o autor da dissertação realizou a publicação de Lima e Lins (2020), o trabalho tem como objetivo encontrar a menor distância associada a rota de leitura que percorra todas as ruas de uma cidade de pequeno porte ao menos uma vez, considerando-se ambos os lados da via, logo a presente dissertação aprofundou o estudo do Problema do Carteiro Chinês do trabalho de Lima e Lins (2020) ao tratar o Problema do Carteiro Chinês Capacitado associado ao Problema do Roteamento de Leituristas. No Problema do Carteiro Chinês Capacitado o roteamento é realizado por mais de um veículo ou entidade, o veículo que realiza o roteamento possui uma capacidade e as arestas ou arcos por onde o veículo passa são dotadas de demanda.

Após a realização da Revisão Sistemática de Literatura observou-se que dois trabalhos possuem similaridades e diferenças com a abordagem proposta para a resolução do PRL, PCCC e PRAC, os dois trabalhos são: Smiderle, Steiner e Carnieri (2003) e Vecchi et al. (2016). Ambos os trabalhos propõem uma abordagem *cluster first – route second*; Smiderle, Steiner e Carnieri (2003) solucionam o PCCC e o PRL, por outro lado, Vecchi et al. (2016) tratam do PRAC. Na clusterização tanto Smiderle, Steiner e Carnieri (2003), quanto Vecchi et al. (2016) utilizam o Capacitated *p*-Median Problem no agrupamento, no presente trabalho propõem-se a aplicação do *generic* Capacitated *p*-Median Problem. O *generic* Capacitated *p*-Median Problem considera a demanda da aresta onde será localizada a mediana ou a instalação e oferece maior acuracidade na solução, algo que não ocorre no Capacitated *p*-Median Problem.

Nos trabalhos de Smiderle, Steiner e Carnieri (2003) e Vecchi et al. (2016) não ocorre a verificação da conectividade de cada *cluster*, ou a proposição de uma estratégia para tornar um agrupamento conexo, algo que ocorre no presente trabalho.

5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Aplicações de técnicas de Pesquisa Operacional, como a Programação Linear, podem trazer importantes benefícios para a resolução de problemas em empresas e organizações. Neste trabalho é proposto a utilização de métodos oriundos da Pesquisa Operacional, Teoria dos Grafos e Otimização Combinatória para aprimorar a logística que envolve o percurso dos leituristas de uma companhia de energia elétrica.

O objetivo desta pesquisa consistiu em propor uma abordagem *cluster first – route second* para o Problema de Roteamento de Leituristas e consequentemente o Problema do Carteiro Chinês Capacitado. A abordagem proposta utiliza uma técnica exata consolidada na literatura para o agrupamento, um algoritmo robusto para verificar a conectividade e outro para verificar o conjunto de arestas que tornam o subgrafo desconexo de um *cluster* em um subgrafo conexo.

Para a aplicação da abordagem proposta o espaço urbano é tratado como um grafo, na fase de clusterização as arestas do grafo são agrupadas em subgrafos por meio do Problema das p -Medianas. A fase de roteamento ocorre depois da verificação da conectividade do subgrafo de cada *cluster* mediante a aplicação de um Algoritmo de Busca em Profundidade, caso um subgrafo não seja conexo, acrescenta-se as arestas que tornam o subgrafo conexo, mediante a aplicação do Algoritmo de Dijkstra Modificado. Para o roteamento, o circuito Euleriano é encontrado por meio da aplicação do Problema do Carteiro Chinês.

Aplicou-se a abordagem proposta a dois casos distintos com dados reais e fez-se inferências. Apesar do modelo oferecer *clusters* desconexos que excedem a capacidade estabelecida para o leiturista ao tornarem-se conexos, o tempo acrescido para tornar um *cluster* conexo corresponde ao tempo de passagem de determinado conjunto de arestas, esse conjunto de arestas adicionado ao *cluster* o tornam conexo. Logo, a abordagem proposta tanto pode ser usada para o planejamento de rotas de leitura, quanto oferece uma alternativa ainda não estudada na literatura para o roteamento de leituristas e consequentemente para resolução do Problema do Carteiro Chinês Capacitado.

O Problema do Carteiro Chinês Capacitado deriva do Problema do Caixeiro Viajante ou Travelling Salesman Problem que é de difícil resolução para instâncias de pequeno porte. Os casos reais em que a abordagem *cluster first – route second* proposta foi modelada e executada comprovam a aplicabilidade do procedimento. Apesar do Problema das p - Medianas utilizado para o agrupamento das arestas ser NP - *difícil*, ele oferece uma solução ótima para problemas com instâncias pequenas e de médio porte como acontece com o grafo associado com a cidade

de Flores em um tempo relativamente curto. Segundo Calvo et. al. (2016) a maioria dos municípios brasileiros ou 76,9% deles são considerados de pequeno porte, dessa forma o roteamento de leituristas por meio da abordagem proposta pode ser aplicado sem grandes custos computacionais para o planejamento de rotas de leitura.

Para a aplicação da abordagem com mais acurácia, o tempo médio que um leiturista leva para realizar a vistoria de relógio de consumo poderia ser determinado por meio de cronoanálise, este trabalho estabeleceu tempos arbitrários para o tempo médio de leitura e carga de trabalho. O tempo médio de leitura impacta diretamente no peso de cada aresta e na definição da quantidade de leituristas.

Como dificuldades para a aplicação da abordagem tem-se a não exatidão do tempo médio de vistoria de um relógio de consumo. Utilizou-se o *Google Maps* para contar o número de pontos de leitura em cada segmento de rua estabelecido como aresta, essa contagem requer esforço humano e está sujeita a erros. As imagens das ruas oferecidas pelo *Google Maps* para contagem possuem a possibilidade de estarem desatualizadas e não oferecerem o número real de relógios de leitura, ou estabelecimentos e construções que representam pontos de consumo. Os tempos de passagem l_{ij} em minutos e os custos de atravessamento c_{ij} em metros, são tempos e custos médios oferecidos pelo *Google Maps*.

Para trabalhos futuros sugere-se a aplicação da abordagem proposta a outros problemas que podem ser modelados por meio do Problema do Carteiro Chinês Capacitado como por exemplo, o roteamento de veículos coletores de lixo urbano. Após a aplicação do Problema do Carteiro Chinês para encontrar o caminho mínimo presente em um agrupamento, algoritmos para o sequenciamento podem ser utilizados para a definição de rotas, o algoritmo de Fleury é utilizado no sequenciamento e identificação de um circuito euleriano em grafos não direcionados conexos, enquanto o algoritmo de Heierholzer é utilizado no sequenciamento de um circuito euleriano em grafos direcionados conexos. Neste trabalho, na fase de roteamento utilizou-se o Problema do Carteiro Chinês para encontrar o caminho mínimo que saindo de um vértice de origem percorra todas as arestas de um grafo e retorne ao vértice de origem, em trabalhos futuros pode ser que não seja necessário retornar ao vértice de origem depois de passar por todas as arestas de um grafo, dessa forma um algoritmo de caminho mínimo pode ser utilizado para o roteamento.

REFERÊNCIAS

CALVO, M. C. M. et al. Estratificação de municípios brasileiros para avaliação de desempenho em saúde. *Revista epidemiologia e serviços de saúde*, Brasília, v.25, n. 4, 767-776, 2016.

CORBERÁN, Á. et al. Arc routing problems: a review of the past, present, and future. *Networks*, Hoboken, n. 1, p. 1 – 27, 2020.

DREZNER, Z. (org.). **Facility location**: a survey of applications and methods. New York: Springer, 1995.

DROR, M. (org.). **Arc routing**: theory, solutions and applications. New York: Springer, 2012.

EGLESE, R.; GOLDEN, B. E.; WASIL, E. Chapter 13: route optimization for meter reading and salt spreading. *In*: Corberán, À.; Laporte, G. (org.). **Arc routing: problems, methods, and applications**. Philadelphia: SIAM, 2015. cap. 13. p. 303 – 320.

GOLDEN, B. L.; WONG, R. T. Capacitated arc routing problems. *Networks*, Hoboken, v. 11, n. 3, p. 305–315, 1981.

LIMA, L. E. S.; LINS, S. L. S. Aplicação do problema do carteiro chinês não direcionado ao roteamento de leiturista em uma cidade do interior da Paraíba. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 40., Foz do Iguaçu, 2020. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ABEPRO, 2020.

SLACK, N.; JONES, A. B.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2016.

SMIDERLE, A.; STEINER, M. T. A.; CARNIERI, C. Problema de cobertura de arcos: um estudo de caso. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., Ouro Preto, 2003. **Anais [...]**. Ouro Preto: ABEPRO, 2003. p. 1-6.

USBERTI, F. L.; FRANÇA, P. M. E.; FRANÇA, A. L. M. Metaheurística grasp com reconexão por caminhos aplicada ao problema do roteamento de leituristas do consumo de energia elétrica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 19., Campina Grande, 2012a. **Anais [...]**. Campina Grande: SBA, 2012.

VECCHI, T. P. B. et al. A sequential approach for the optimization of truck routes for solid waste collection. **Process safety and environmental protection**, v. 102, 238–250, 2016.