

Vehicle Routing Problem Solved through Heuristics Procedures: A Case Study

T. Fantazzini, and M. Steiner

Abstract—These instructions give you guidelines for preparing papers for IEEE Transactions and Journals. Use this document as a template if you are using Microsoft *Word* 6.0 or later. Otherwise, use this document as an instruction set. The electronic file of your paper will be formatted further at IEEE. Paper titles should be written in uppercase and lowercase letters, not all uppercase. Avoid writing long formulas with subscripts in the title; short formulas that identify the elements are fine (e.g., "Nd-Fe-B"). Do not write "(Invited)" in the title. Full names of authors are preferred in the author field, but are not required. Put a space between authors' initials. The abstract must be a concise yet comprehensive reflection of what is in your article. In particular, the abstract must be self-contained, without abbreviations, footnotes, or references. It should be a microcosm of the full article. The abstract must be between 150–250 words. Be sure that you adhere to these limits; otherwise, you will need to edit your abstract accordingly. The abstract must be written as one paragraph and should not contain displayed mathematical equations or tabular material. The abstract should include three or four different keywords or phrases, as this will help readers to find it. It is important to avoid over-repetition of such phrases as this can result in a page being rejected by search engines. Ensure that your abstract reads well and is grammatically correct.

Index Terms—Chinese Postman Problem, Heuristics Procedures, Facility Location Problem.

I. INTRODUÇÃO

A melhoria na logística tem sido uma das principais áreas de interesse das empresas atualmente. Problemas relacionados à logística têm trazido consequências relacionadas ao reconhecimento das empresas no mercado, prejudicando assim a sua credibilidade [1]. Estes problemas são, muitas vezes, sanados com um maior investimento de capital em contratações de funcionários extras, sendo que poderiam ser solucionados com um melhor planejamento [2]. É neste contexto que a otimização em redes aparece para melhorar o planejamento de rotas a serem percorridas.

O problema a ser abordado neste artigo trata do desenvolvimento de rotas para os leituristas de uma companhia de fornecimento de energia elétrica do município de São José dos Pinhais, no Estado do Paraná, Brasil. Há uma crescente demanda de fornecimento de energia elétrica no município e os leituristas devem passar por todas as localidades registradas no sistema da companhia, para

registrar o consumo mensal.

O objetivo deste estudo foi desenvolver rotas para serem percorridas pelos leituristas a fim de reduzir o tempo de deslocamento e homogeneizar a carga de trabalho destes funcionários. Para tanto, primeiramente foi realizada uma divisão da região a ser analisada em *clusters* (grupos), utilizando o Problema de Localização de Facilidades (PLF), para depois implementar o Problema do Carteiro Chinês (PCC) em cada um destes *clusters* determinando, em cada um deles, uma rota a ser percorrida pelos leituristas. Para a realização do PLF serão utilizados diferentes procedimentos heurísticos e meta-heurísticos, comparativamente, para constatar qual o melhor método a ser considerado para o problema em pauta.

O PLF é classificado como um problema de nível NP-hard (problema não polinomial difícil), o que dificulta a sua resolução por métodos exatos. Portanto a utilização de procedimentos heurísticos e meta-heurísticos para solucionar estes problemas tem sido um recurso muito utilizado, sendo possível obter resultados próximos do ótimo em um menor período computacional [3].

Podemos verificar na literatura alguns trabalhos correlatos, que também apresentam desenvolvimento de rotas, como o [4], que apresenta um problema de roteamento de veículos para entrega de mercadorias, solucionado através de diferentes métodos meta-heurísticos. O [5], que apresenta um problema de determinação de locais para estocagem de produtos perecíveis, assim como a melhor rota para entre os armazém e os varejistas com a utilização do Algoritmo Genético (AG).

Constatou-se junto à literatura, segundo [6], [7] e [8], que os procedimentos heurísticos e meta-heurísticos mais utilizados para a resolução dos PLF são o AG, *Variable Neighborhood Search* (VNS) e a Busca Tabu (BT). Desta forma, a originalidade deste trabalho se dá pela comparação das soluções obtidas por meio do modelo matemático (solução exata) do PLF com um dos métodos mais utilizados na literatura, o AG, além de um algoritmo praticamente não utilizado pelos pesquisadores, embora promissor, o Algoritmo de Teitz & Bart [9].

Na seção II é apresentada a descrição do problema tratado neste artigo. Na seção III apresenta-se uma fundamentação teórica acerca do tema e dos métodos utilizados para a resolução do problema apresentado. Na seção IV é possível verificar a metodologia utilizada. Na seção V têm-se a análise dos resultados finais obtidos. Finalmente, na seção VI são apresentadas a conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

T. M. Fantazzini, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil, tarley_mansur@hotmail.com.

M. T. A. Steiner, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Curitiba, Paraná, Brasil, maria.steiner@pucpr.br.

II. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A empresa de energia elétrica aqui analisada é responsável por fornecer seu serviço para cerca de 4.500.000 unidades consumidoras em 399 municípios e 1.113 localidades paranaenses. No Paraná a empresa está dividida em cinco regiões: Curitiba, Ponta Grossa, Maringá, Cascavel e Londrina, conforme destacadas na Fig. 1.

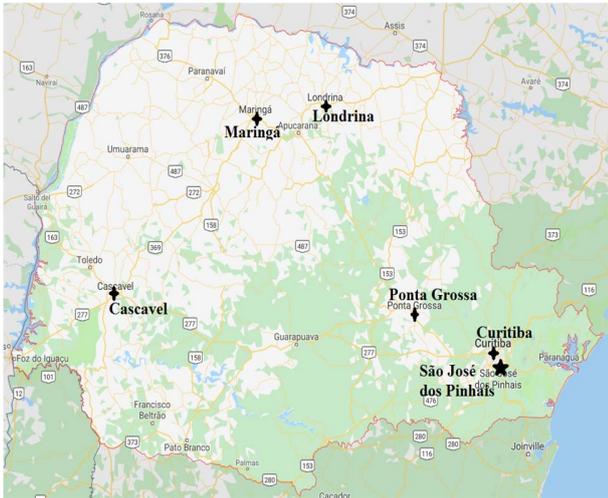


Fig. 1. Mapa do Estado do Paraná.

É responsabilidade da companhia realizar o serviço de leitura dos medidores de energia elétrica mensalmente nas unidades em perímetro urbano. Nas regiões rurais, a leitura é realizada uma vez a cada três meses, sendo que nos meses interpostos o cliente rural precisa informar a leitura em data específica, diferente da data da leitura realizada pelo leiturista.

Este trabalho se ateu na otimização de rotas a serem percorridas pelos leituristas desta companhia de energia elétrica, em uma região localizada em São José dos Pinhais. A região analisada conta com oito leituristas para realizar as leituras em um dia; caso não seja possível terminar no prazo estipulado, este deverá retornar de onde parou, podendo ocasionar atrasos de leituras em outras regiões. Os leituristas percorrem em média 5,5 km por dia.

O cenário atual da empresa conta com uma divisão da região em oito sub-regiões, sendo que cada um destes particionamentos é destinado a um dos leituristas. Porém não há uma rota definida a ser seguida por eles, apenas os endereços e quantidades de leituras a serem realizadas, que atualmente somam 2.689.

Na Fig. 2 é possível verificar o cenário atual da divisão desta região para os oito leituristas, e a Tabela I mostra a quantidade de leituras destinadas a cada um deles.

As cores em vermelho e verde na Fig. 2 representam, cada uma, a rota a ser realizada por dois leituristas. Na Tabela I é possível verificar esta divisão, com a quantificação das leituras.

Como pode-se observar, as rotas estão bastante desorganizadas (mistura de cores da Fig. 2) e desbalanceadas (Tabela I).

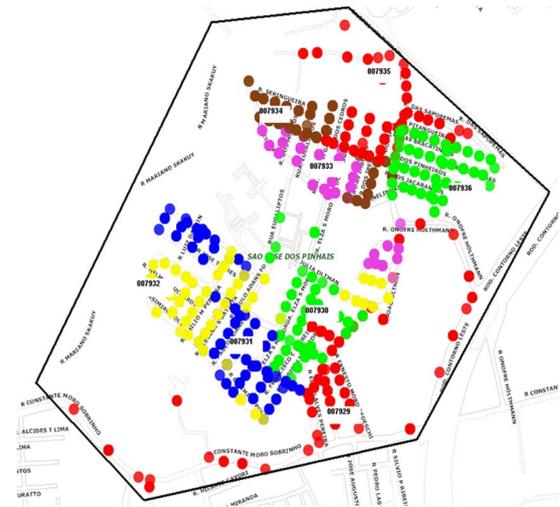


Fig. 2. Mapa da situação atual do particionamento da região.

TABELA I
DIVISÃO DO NÚMERO DE LEITURAS DA REGIÃO

Leituristas	Quantidade de leituras	Cor correspondente
1	369	Vermelho (inferior)
2	652	Verde (inferior)
3	403	Azul
4	301	Amarelo
5	235	Lilás
6	189	Marrom
7	262	Vermelho (superior)
8	278	Verde (superior)

III. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os problemas de Otimização em Redes (OR) são muito abrangentes, podendo se referir a problemas de transporte, designação de tarefas, localização de facilidades, redes elétricas, entre outros diversos problemas [10].

Segundo [11], a maioria dos Problemas de Roteamento de Veículos (PRV) podem ser traduzidos em problemas de redes, e o tamanho do problema é medido em relação aos seus arcos e nós. Já a sua complexidade é dividida em duas classes, polinomiais e não polinomiais difíceis. Sendo que os últimos são problemas mais complexos, sendo que muitas vezes se utiliza de métodos heurísticos para encontrar uma solução, reduzindo assim o tempo computacional necessário.

A. Problema de Localização de Facilidades

Os PLF têm como objetivo a determinação do número de estabelecimentos e serem instalados e como melhor distribuí-los dentre as diversas alternativas disponíveis, tendo em vista que com uma melhor localização destas facilidades, haverá redução nos custos para a distribuição dos bens e serviços [12].

O PLF pode ser visto como um problema de p-medianas, que envolve a determinação da localização de p facilidades e a designação dos clientes às facilidades mais próximas, com o objetivo de redução no tempo de deslocamento e no

custo. É possível que estas instalações estejam localizadas em qualquer local dos arcos que faça conexão com seus clientes [13].

O modelo matemático do PLF consiste em um modelo de Programação Linear Inteiro Binário (PLIB), conforme apresentado de (1) a (5), segundo [14].

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot d_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.a: } \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{para } j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ii} = p \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq x_{ii} \quad \text{para } i, j \in N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \text{para } i, j \in N \quad (5)$$

onde: x_{ij} é a matriz de alocações, em que se x_{ij} for igual a 1, então o vértice x_j é alocado ao vértice x_i ; se x_{ij} for igual a 0, o vértice x_j não é alocado; $x_{ii} = 1$, se o vértice x_i é um vértice-mediana; $x_{ii} = 0$, caso contrário. Além disso, n = número de nós na rede; d_{ij} = distância entre o cliente j a facilidade i ; a_i = peso atribuído à facilidade i ; p = número de facilidades a serem abertas.

A função objetivo (1) minimiza a distância ponderada dos clientes às facilidades. As restrições apresentadas em (2) garantem que cada cliente localizado em j seja atendido por uma única facilidade i , e esta deve ser uma mediana. As restrições em (3) indicam o número de facilidades (p) que deverão ser abertas. As restrições em (4) garantem que cada cliente j seja designado a i , apenas se i for uma facilidade e, por fim, as restrições em (5) indicam que as variáveis x_{ij} deverão ser binárias.

B. Algoritmo de Teitz & Bart

A heurística de T&B busca encontrar o somatório entre as menores distâncias entre os p vértices (v_i) em relação aos n vértices dispostos no conjunto (V), considerando os pesos atribuídos a cada um dos vértices (w_j), com a utilização da equação (6). Com os resultados dos somatórios de todas as combinações $\binom{n}{p}$ é possível definir as p -medianas, que minimizam a referida soma das distâncias (equação 7) [15].

$$\sigma(v_i) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot d(v_i, v_j) \quad (6)$$

$$\sigma(v_p) = \min[\sigma(v_i)] \quad \forall v_i \in V \quad (7)$$

C. Algoritmo Genético

O AG foi fundamentado por John Holland e sua equipe de pesquisadores da universidade de Michigan, em 1975. Este algoritmo foi desenvolvido com base nos mecanismos da teoria da evolução de Darwin, sob o conceito da sobrevivência

do mais adaptado. Uma das principais características desta heurística é a sua robustez, com o balanceamento entre eficácia e eficiência atingidas a um tempo computacional reduzido [16].

Um AG é iniciado com a utilização de soluções aleatórias, que são aperfeiçoadas através de iterações compostas principalmente por 3 etapas: seleção, recombinação (crossover) e mutação. Na etapa de seleção, são eliminadas as soluções classificadas como fracas, formando uma população temporária. Na etapa de recombinação, são realizadas combinações entre soluções da etapa anterior (pais), gerando novas soluções (filhos). Por fim, na etapa de mutação é realizada uma busca na vizinhança destas “soluções filhos” com o objetivo de melhorar a solução [17].

D. Problema do Carteiro Chinês

Mei-Ko Kwan, em 1962, publicou pela primeira vez o relato de um problema em que um carteiro, com o objetivo de entregar suas correspondências deveria, saindo da origem, passar por todas as ruas com entregas um número mínimo de vezes antes de retornar à origem (ciclo Euleriano) [18].

Com a análise do problema, Kwan verificou que se todos os ‘nós’ apresentassem grau par de arestas, então seria possível formar um ciclo Euleriano. Mas, caso existissem nós com grau ímpar, seria necessário replicar certas arestas para transformá-los em graus pares, a fim de se obter um ciclo Euleriano [13].

A seguir, de (8) a (11), encontra-se o modelo matemático apresentado por [13] para o PCC.

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (8)$$

$$\text{s.a: } \sum_{j=1}^n x_{ji} - \sum_{j=1}^n x_{ij} = 0, i = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$x_{ij} + x_{ji} \geq 1 \quad \forall (i, j) \in A \quad (10)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ inteiros} \quad (11)$$

Onde: n é igual ao número de nós contidos na rede; A representa o conjunto de arcos pertencentes à rede; as variáveis x_{ij} = número de vezes que o arco (i, j) é “atravessado” de i para j ; c_{ij} = distância (ou custo) do arco (i, j) .

A função objetivo (8) minimiza o custo da percorrida (distância total) realizada pelo carteiro chinês. As restrições apresentadas em (9) asseguram que o número de arcos que saem de um nó é equivalente ao número de arcos que chegam ao mesmo nó. As restrições em (10) garantem que todos os arcos do problema sejam percorridos ao menos uma vez. Por fim, as restrições em (11) indicam que as

IV. METODOLOGIA

São aqui definidos a forma de utilização dos métodos; a obtenção dos pontos de demanda (leitura); o ambiente computacional; assim como os dois cenários desenvolvidos.

A. Definição dos Métodos Utilizados

Para a 1ª. fase, PLF (obtenção dos *clusters*), foi utilizado o modelo matemático, de (1) a (5), além do AG, do T&B e de um modelo híbrido (AG e T&B), comparativamente. Desta forma têm-se condições de verificar o procedimento que mais se aproxima da solução exata e o quão próximo ele está. Já na 2ª fase, para o PCC, foi utilizado o modelo matemático de (8) a (10). Na Fig.3 é possível verificar, de forma sintetizada, as técnicas utilizadas em cada fase.



Fig. 3. Metodologia adotada.

B. Divisão dos Pontos de Leituras

Tendo em vista a preparação dos dados foi, inicialmente, realizado um agrupamento de pontos de leitura por trechos das ruas, com o objetivo de reduzir a complexidade do problema. Para isso, foram agrupados todos os pontos de leituras pertencentes a cada trecho das ruas da região no ponto médio de cada um destes trechos para representá-los. Na sequência foram utilizadas as distâncias entre os pontos médios para desenvolver a matriz de distâncias utilizada na resolução do problema aqui analisado. Na Fig. 4 é possível verificar um exemplo de como foi realizado o agrupamento e definição das distâncias utilizadas.

Com a realização deste agrupamento, foi possível reduzir o número de 2.689 pontos de leitura para 132 a serem analisados, representando todas as leituras a serem realizadas pelos leituristas. Os trechos contidos na região que não apresentam pontos de leitura foram desconsiderados na plotagem dos pontos.

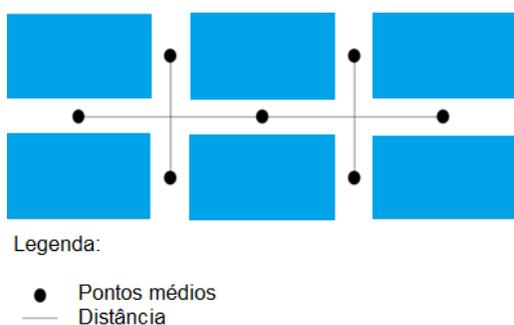


Fig. 4. Exemplo de agrupamento de pontos de leituras por trechos.

C. Ambiente de Programação Computacional

A programação dos métodos heurísticos/meta-heurísticos presentes nesse trabalho foi realizada através da utilização *software* R. Já para a resolução do método exato, tanto do PLF quanto do PCC, foi utilizado o *software* LINGO 17.0 (*Language for Interactive Optimizer Systems*).

Para a implementação computacional do AG, os parâmetros ficaram definidos da seguinte forma: população inicial de 20 indivíduos; método de seleção dos indivíduos para a realização do *crossover*, por roleta; e, número de iterações igual a 100. O modelo matemático do PCC sofreu uma pequena adequação, já que leiturista precisa percorrer os trechos das ruas duas vezes, para atender os seus dois lados, portanto a restrição (10), $x_{ij} + x_{ji} \geq 1$, precisou ser modificada para $x_{ij} + x_{ji} \geq 2$. Nos casos em que é opcional passar por um trecho, pois não há leituras a serem realizadas, esta restrição foi alterada para $x_{ij} + x_{ji} \geq 0$.

D. Cenários

Foram desenvolvidos dois diferentes cenários para realizar as comparações entre os métodos utilizados. Em cada um destes cenários, os leituristas possuem diferentes “capacidades máximas” e “demandas mínimas” de leituras a serem atendidas, para manter um equilíbrio na carga de trabalho designada a cada um deles. Foram atribuídos diferentes pesos para as leituras únicas em comparação com locais que possuem mais de uma leitura, como prédios e condomínios.

No Cenário 1 não foi utilizada nenhuma delimitação de capacidade ou demanda necessária. Também não foram atribuídos pesos diferenciados para as leituras neste primeiro cenário.

No Cenário 2 foi atribuído peso 1 para as leituras únicas e de 0,3 para as leituras extras em cada local. Por exemplo: um prédio que possui 10 leituras a serem realizadas receberia um peso de $(1 + 9 \cdot (0,3))$, ou seja, teria um peso de 3,7. Após a atribuição de pesos, o total foi dividido pelo número de leituristas, que são 8, e foi acrescentado 25% do valor obtido na divisão para calcular a capacidade máxima e, além disso, foi reduzido em 25% para calcular demanda mínima a ser atendida. Estes percentuais ficaram definidos após vários experimentos iniciais, tendo em vista uma maior flexibilização para a resolução do problema. Mais especificamente, este intervalo foi definido para aumentar a possibilidade de se obter resultados factíveis. Vale destacar que foram testados os valores de 10%, 15% e 20%, porém o tempo para gerar soluções iniciais nos métodos do AG e do T&B foram muito longos.

As distâncias do trajeto, obtidas através do PLF mostram apenas uma previsão da distância real. Uma vez que elas mostram a distância dos pontos pertencentes ao *cluster* até a sua mediana.

E. Cenário 1

Na Tabela II é apresentado um comparativo dos resultados obtidos através dos quatro métodos utilizados para solucionar o PLF.

TABELA II
RESULTADOS OBTIDOS NO CENÁRIO 1

	Método Exato	AG	T&B	Híbrido (AG+T&B)
Resultado Computacional (metros)	22.356	25.699	22.438	22.399
Tempo Computacional (segundos)	00:38:50	00:00:25	00:00:08	00:00:32
Diferença do resultado ótimo (metros)	---	3.343	82	43
Porcentagem da diferença em relação à solução ótima	---	15,00%	0,40%	0,20%

O resultado obtido pelo método exato indica a solução ótima para o problema, e esta, apresenta um valor de 22.356 metros a serem percorridos pelos 8 leituristas, e o tempo computacional necessário para encontrar a solução foi de 38 minutos e 50 segundos.

Em relação aos outros métodos, o híbrido (AG + T&B), apresentou a solução mais próxima do ótimo, com uma diferença de apenas 0,2%, com um tempo computacional muito inferior. O Algoritmo de T&B também apresentou um resultado próximo da otimalidade, com o menor tempo computacional dentre os quatro métodos. Já o AG retrata o pior dos resultados obtidos neste cenário, com uma diferença de 15% do resultado ótimo.

No Cenário 1, como não houve delimitações de capacidade ou demanda, além de, também, não ser utilizada nenhuma atribuição de pesos, pode-se observar que não houve um equilíbrio na divisão da carga de trabalho entre os leituristas, em nenhum dos métodos utilizados.

F. Cenário 2

Na Tabela III é apresentado um comparativo dos resultados obtidos através dos quatro métodos utilizados para solucionar o PLF.

TABELA III
RESULTADOS OBTIDOS NO CENÁRIO 2

	Método Exato	AG	T&B	Híbrido (AG+T&B)
Resultado Computacional (metros)	22.978	28.541	25.192	24.827
Tempo Computacional (segundos)	00:39:52	00:15:18	00:00:55	00:15:25
Diferença do resultado ótimo (metros)	---	5.563	2.214	1.849
Porcentagem da diferença em relação à solução ótima	---	24,20%	9,60%	8,00%

Neste Cenário 2 foi possível verificar o mesmo padrão obtido no Cenário 1, em relação à ordem de resultados mais próximos da otimalidade.

O método exato apresentou o resultado de 22.978 metros, correspondente a rota total a ser percorrida pelos 8 leituristas, com um tempo computacional de 39 minutos e 52 segundos. O método híbrido (AG + T&B) apresentou o resultado mais próximo do ótimo, com apenas 8% de diferença. O Algoritmo de T&B apresentou um resultado próximo ao obtido pelo método híbrido, porém em um tempo computacional muito inferior. O AG, novamente, apresentou o pior resultado dentre os métodos.

Neste cenário houve uma melhor distribuição da carga de trabalho entre os leituristas, devido à aplicação da delimitação de capacidade e demanda, e atribuição de pesos. Ou seja, este Cenário 2 pode ser classificado como sendo o melhor dentre os dois cenários analisados, pois traz um equilíbrio na divisão do trabalho. Na Fig.5 é possível visualizar o particionamento obtido através do método exato, sendo que cada cor representa o trajeto a ser percorrido por um dos leituristas.

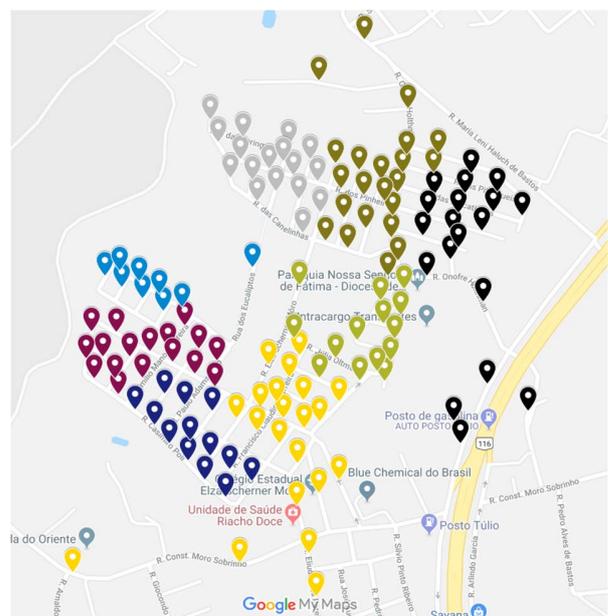


Fig. 5. Resultado do particionamento pelo método exato.

G. Definição das Rotas

Com o particionamento da região definido, o próximo passo foi a aplicação do modelo matemático do PCC para a definição das rotas dentro de cada partição. Esta aplicação foi realizada considerando a solução ótima obtida pelo Cenário 2. Vale destacar que o modelo matemático foi desenvolvido de forma individual para cada um dos 8 clusters encontrados.

Os resultados obtidos, em relação a distância real a ser percorrida pelos leituristas e a quantidade de leituras previamente definidas através do PLF, estão expostos na Tabela IV. As cores apontadas nesta tabela fazem referência as cores da Fig. 5. Na Fig. 6, a título de ilustração, é

possível verificar uma das oito rotas a ser percorridas por um dos leituristas.

TABELA IV
DIVISÃO DE TRABALHO ENTRE OS LEITURISTAS

Leituristas	Cor	Distância percorrida	Quantidade de leituras
1	Roxo	2.584	99
2	Preto	5.486	295
3	Cinza	3.040	237
4	Laranja	5.040	313
5	Verde Escuro	2.834	280
6	Amarelo	5.796	285
7	Verde claro	2.856	500
8	Azul	2.008	680
Total		29.644	2.689

É possível verificar que há uma diferença considerável entre as distâncias (6.666 metros, ou seja, PLF exato de 22.978 e PCC exato de 29.644), pois o PLF fornece a distância dos pontos contidos no *cluster* até a sua mediana, e também pelo fato de estarmos utilizando um modelo do PCC modificado, em que é considerado que a rota deve ser percorrida nos dois lados de cada trecho.

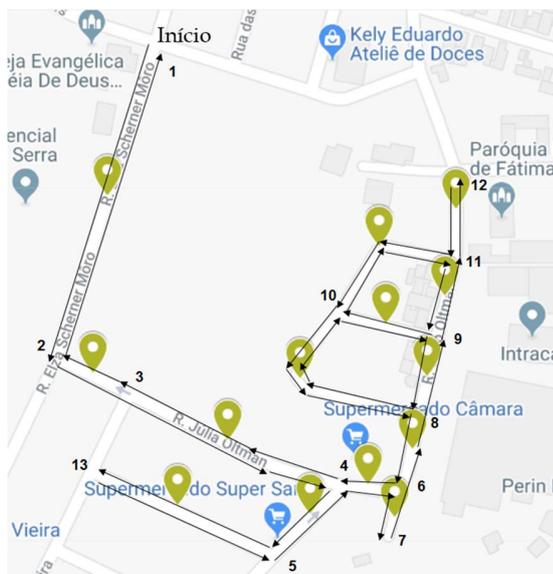


Fig. 6. Rota relativa ao leiturista 7.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho é proposta a utilização de métodos oriundos da área de Pesquisa Operacional para aprimorar a logística que envolve o percurso dos leituristas de uma companhia de energia elétrica.

Este estudo utilizou o PLF, fazendo uso do modelo matemático (solução exata), do AG, do T&B e do híbrido (AG e T&B) para a determinação dos *clusters*, comparativamente. Foram gerados dois cenários, para verificar o que melhor se adequava às necessidades da empresa, caso a solução viesse a ser implementada, variando-se a capacidade dos leituristas e as demandas a serem atendidas.

Em relação aos métodos utilizados, os melhores resultados apresentados foram gerados pelo algoritmo híbrido (AG e T&B), que foi o que mais se aproximou da solução exata. Adicionalmente, pode-se observar que o T&B apresentou resultados satisfatórios nos dois cenários, além de apresentar um tempo computacional muito inferior em relação aos outros métodos utilizados. Já o AG não apresentou resultados tão bons quanto os outros métodos. Desta forma, caso o problema contivesse uma quantidade bem maior de pontos, no qual a solução exata não pudesse ser obtida, a sugestão seria aplicar o método híbrido (AG e T&B). Por fim, com a definição do melhor cenário (exato), foi aplicado o PCC para determinar as rotas a serem percorridas pelos leituristas.

Para a realização de trabalhos futuros, sugere-se que sejam utilizados outros métodos heurísticos, de forma híbrida ou “puros” como, por exemplo, o *Iterated Local search* (ILS) [19] e/ou *Ant Colony Optimization* (ACO) [20], para análise e comparação aos resultados aqui obtidos. A comparação das soluções torna-se relevante, visto que o aumento no tempo computacional gasto para resolução por métodos exatos faz com que utilização de técnicas mais eficientes, computacionalmente, sejam vantajosas.

REFERÊNCIAS

- [1] L. L. Maciel and R. Grande, “Avaliação de fornecedores sob a perspectiva da logística Suppliers’ evaluation from a logistics perspective,” *Produção em Foco*, vol. 07, no. 01, pp. 169–198, 2017.
- [2] M. C. Gomes, M. C. Miranda, I. R. Carraro, and J. Furlan, “Planejamento estratégico na logística: etapas e estratégias para a implementação,” *Sustain. Business Int. J.*, p. 20, 2016.
- [3] C. S. ReVelle, H. A. Eiselt, and M. S. Daskin, “A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 184, no. 3, pp. 817–848, 2008.
- [4] J. C. Ferreira, M. T. A. Steiner, and M. S. Guersola, “A Vehicle Routing Problem Solved Through Some Metaheuristics Procedures: A Case Study,” *IEEE América Lat.*, vol. 15, no. 5, pp. 943–949, 2017.
- [5] A. Hiassat, A. Diabat, and I. Rahwan, “A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 42, pp. 93–103, 2017.
- [6] E. Ardjmand, G. Weckman, N. Park, P. Taherkhani, and M. Singh, “Applying genetic algorithm to a new location and routing model of hazardous materials,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 53, no. 3, pp. 916–928, 2015.
- [7] H. Yildiz, M. P. Johnson, and S. Roehrig, “Planning for meals-on-wheels: algorithms and application,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 64, no. 10, pp. 1540–1550, Oct. 2013.
- [8] R. R. V. J. B. Mendes, M. F. S. V. D’Angelo, N. A. Maia, “A Hybrid Multiobjective Evolutionary Algorithm for Truck Dispatching in Open-Pit Mining,” *IEEE América Lat.*, vol. 14, no. 3, 2016.
- [9] L. R. Abreu and B. A. Prata, “A Hybrid Genetic Algorithm for solving the Unrelated Parallel Machine Scheduling problem with Sequence Dependent Setup Times,” *IEEE América Lat.*, vol. 16, no. 6, pp. 1715–1722, 2018.
- [10] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introdução a pesquisa operacional*, 8th ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- [11] L. Bodin, B. L. Assad, and A. Ball, “Routing and scheduling of vehicles and crews. The state of the art,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 10, no. 2, p. 211, 1983.
- [12] P. Belfiore and L. P. Fávero, *Pesquisa Operacional: para Cursos de Engenharia*. Rio de Janeiro: Elsevier Ltd, 2013.
- [13] M. Arenales, V. Armentano, R. Morabito, and H. Yanasse, *Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia*. 2007.
- [14] E. L. F. Senne and L. A. N. Lorena, “Abordagens complementares para problemas de p-medianas,” *Rev. Produção*, vol. 13, pp. 78–87, 2003.
- [15] E. Gasparin and L. L. Teixeira, “Heurística De Teitz E Bart Na Resolução De Um Problema Logístico,” *Rev. Eletrônica Científica Inovação e Tecnol.*, vol. 1, no. 13, pp. 21–27, 2016.

- [16] F. Glover and G. A. Kochenberger, *Handbook Of Metaheuristics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [17] M. T. A. Steiner, D. Datta, P. J. Steiner Neto, C. T. Scarpin, and J. R. Figueira, "Multi-objective optimization in partitioning the healthcare system of Parana State in Brazil," *Omega*, vol. 52, pp. 53–64, 2015.
- [18] A. a. Assad and B. L. Golden, "Arc Routing Methods and Applications Arjang," *Handbooks Oper. Res. Manag. Sci.*, vol. 8, pp. 375–483, 1995.
- [19] J. Carlos, S. Tuoh, G. Erick, A. Fuentes, E. S. Herna, and J. M. Mari, "Solution to travelling salesman problem by clusters and a modified multi-restart iterated local search metaheuristic," *PLoS One*, vol. 13, no. 8, pp. 1–20, 2018.
- [20] H. Xu, P. Pu, and F. Duan, "Dynamic Vehicle Routing Problems with Enhanced Ant Colony Optimization," *Discret. Dyn. Nat. Soc.*, 2018.



Tarley Mansur Fantazzini possui Graduação em Engenharia de Produção pela UNIFEI (2016) e Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) pela UFPR, com principal atuação na área de Pesquisa Operacional.



Maria Teresinha Arns Steiner possui Pós-Doutorado pelo ITA (2005) e pelo IST de Lisboa (2014). Atuou na UFPR de agosto de 1978 a outubro de 2010. Desde fevereiro de 2011 vem atuando na PUCPR, junto ao PPGEPS. Tem experiência na área de Pesquisa Operacional.