



## OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE ENTREGAS DE MATERIAIS EM UMA REDE HOSPITALAR POR MEIO DO ALGORITMO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

### OPTIMIZATION OF MATERIAL DELIVERY ROUTES IN A HOSPITAL NETWORK THROUGH THE ALGORITHM OF THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM

 **Jaqueline Daniela de Oliveira Fonseca**

Mestre em Administração, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET  
Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil  
[jaquelinedaniella@yahoo.com.br](mailto:jaquelinedaniella@yahoo.com.br)

 **Elisangela Martins de Sá**

Doutora em Engenharia de Produção, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET  
Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil  
[elisangelamartins@gmail.com](mailto:elisangelamartins@gmail.com)

 **Fabrcio Molica de Mendonça**

Doutor em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São João Del Rei - UFSJ  
São João Del Rei, Minas Gerais – Brasil  
[fabriciomolica@yahoo.com.br](mailto:fabriciomolica@yahoo.com.br)

 **Paulo Fernandes Sanches Junior**

Doutor em Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET  
Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil  
[sanches@cefetmg.br](mailto:sanches@cefetmg.br)

**Resumo:** Este trabalho teve como objetivo propor opções de roteamento para distribuir materiais médico-hospitalares de um almoxarifado central para 21 hospitais no Estado de Minas Gerais. Trata-se de um estudo aplicado, de abordagem quantitativa, desenvolvido na Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais, a maior rede de hospitais públicos da América Latina. Dessa forma, foram testados alguns modelos para otimizar as entregas de tais itens às unidades. Buscou-se reduzir os custos da distribuição, por meio da redução das distâncias percorridas, a partir da utilização de mais de um veículo com diferentes capacidades. Foi implementada uma adaptação do Problema do Caixeiro Viajante, por meio de rotas de entregas periódicas, no software IBM CPLEX, apresentando propostas de roteamento com variáveis com índice. Foram obtidas rotas utilizando mais de um veículo, atendendo a todas as unidades, obedecendo aos quantitativos e às frequências estipuladas pela organização. Ficou demonstrado que o roteamento com a adoção de veículos com maior capacidade pode otimizar as entregas, reduzindo a quilometragem percorrida em 19%, aproximadamente. Ressalta-se a importância deste estudo por tratar de uma rede de hospitais, sendo este um diferencial dentro da literatura da área.

**Palavras-chave:** Materiais. Sistema único de saúde. Programação linear. Sistemas de distribuição no hospital. Transportes.

**Abstract:** This work aimed to propose routing options to distribute medical-hospital materials from a central warehouse to 21 hospitals in the State of Minas Gerais. It is an applied study, of quantitative approach, developed in Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais, the largest network of public hospitals in Latin America. In this way, some models were tested to optimize the deliveries of such items to the units. The aim was to reduce distribution costs by reducing the distances traveled, when using more than one vehicle, with different capacities. An adaptation of the Traveling Salesman Problem was implemented in IBM CPLEX software, presenting routing proposals with variables with index. Routes were obtained using more than one vehicle, attending to all units, obeying the quantitative and the frequencies stipulated by the organization. It has been demonstrated that the adoption of vehicles with greater capacity can optimize the deliveries, reducing the distance traveled by 19%, approximately. We emphasize the importance of this study because it is a network of hospitals, being a differential within the literature of the area.

**Keywords:** Materials. Unified health system. Linear programming. Hospital distribution systems. Transports.

#### Cite como:

American Psychological Association (APA)

Fonseca, J. D. O., Sá, E. M., Mendonça, F. M., & Sanches Junior, P. F. (2020). Otimização de rotas de entregas de materiais em uma rede hospitalar por meio do algoritmo do problema do caixeiro viajante. *Rev. Gest. Sist. Saúde*, São Paulo, 9(2), 283-302. <https://doi.org/10.5585/rgss.v9i2.16570>.



## 1 Introdução

Carvalho et al. (2014) argumentam que a gestão de transportes, no que tange à redução de custos, é um impasse para as empresas nos dias de hoje. Silva e Silva (2015) ressaltam que o gerenciamento eficaz dos transportes melhora a logística das organizações por oferecer novas opções para estas. Amaral e Guerreiro (2014) lembram que os *trade-offs* na área da logística ocorrem entre os gastos incorridos com manutenção de estoque e os custos de transporte. Nesse sentido, a distribuição de materiais é de suma importância para as organizações, tanto do ponto de vista financeiro como operacional, haja vista que esses itens são necessários às atividades fins (Santos & Santos, 2017).

No campo da saúde pública brasileira, Oliveira e Musetti (2014) ressaltam que a logística hospitalar é relevante, pois busca evitar interrupções no fornecimento de materiais às unidades e, conseqüentemente, aos pacientes. Raimundo, Dias e Guerra (2015) complementam que a logística, juntamente com os materiais e os recursos humanos e financeiros, são pontos críticos para a manutenção e a excelência operacional dos hospitais, sendo que as melhorias na gestão logística podem impactar positivamente na assistência prestada. Assim, a otimização dos custos e da capacidade logística é de suma importância para garantir o provimento de insumos aos hospitais públicos brasileiros.

Entretanto, Araújo, Araújo e Musetti (2012) discorrem que os hospitais públicos ainda são ineficientes em gestão administrativa e, muitas vezes, não acreditam que ela seja algo que precisa ser aprimorado. Embora a insuficiência de recursos financeiros seja um impasse para a melhoria da saúde pública, sendo recorrentemente indicada como o maior problema, o mau uso de materiais e equipamentos, o despreparo dos gestores e o planejamento precário também são empecilhos para o avanço no setor (Raimundo et al., 2015). O melhoramento da administração de suprimentos na área pública brasileira depende de uma gestão logística que atenda às suas peculiaridades, sendo recomendável estudar a realidade da organização para adequar procedimentos e modelos (Almeida, Tavares, Melo, Nunes & Negrão, 2016; Scheidegger, 2014)

Nesse contexto, Raymundo, Gonçalves e Ribeiro (2015) ressaltam que a modelagem matemática pode auxiliar na tomada de decisão das organizações, quando há diferentes fatores relacionados. Rodrigues, Oliveira, Castorani e Alexandre (2016) destacam que, devido ao impacto que o transporte possui nos custos e no nível de serviço, deve-se empregar técnicas de pesquisa operacional, para melhorar o desempenho das organizações. Nesse sentido, destaca-



se o Problema do Caixeiro Viajante, que propõe um algoritmo para otimização de rotas e que abrange várias adaptações do mundo real (Barbosa, Silla & Kashiwabara, 2015).

O objetivo deste trabalho é apresentar propostas de roteirização para distribuição de materiais médico-hospitalares que minimizem os custos de transportes, por meio da redução das distâncias percorridas. Por tratar de uma rede de hospitais públicos, é um diferencial na literatura da área. Para tanto, foram testados modelos de otimização linear, baseados no algoritmo do Problema do Caixeiro Viajante, que permitiram a utilização de mais de um veículo para efetuar a distribuição de materiais de um único almoxarifado para as unidades de uma rede hospitalar. A seguir, tem-se o item 2, que apresenta uma breve revisão da literatura acerca do tema. Na seção 3, é feita uma descrição da organização analisada e da metodologia empregada. As Seções 4 e 5 apresentam, respectivamente, os resultados alcançados e as conclusões e recomendações para futuras pesquisas.

## 2 Referencial teórico

### 2.1 Materiais médico-hospitalares nos hospitais públicos no Brasil

O conceito de administração de materiais do Hospital das Clínicas de Porto Alegre (2004 como citado em Souza & Rosa, 2015, p. 266) destaca que:

A gestão de suprimentos, através do controle do fluxo de materiais e serviços, proporciona que os materiais comprados pelo hospital cheguem ao local correto, no momento exato, na devida quantidade, vindos de fonte certa e com as melhores condições de qualidade e preço.

Para os autores, a administração de materiais hospitalares é mais complexa devido às características dos insumos – prazo de validade, armazenagem, rastreabilidade. Avanços tecnológicos, variabilidade da demanda e inaceitabilidade da falta de material exigem, nas compras hospitalares, decisões acerca de especificação, quantidade, modalidade de compra e local para estocar. Para Garcia, Haddad, Dellaroza, Costa e Miranda (2012), a gestão dos itens de consumo é importante diante dos orçamentos escassos que os hospitais públicos enfrentam e que impõem um controle maior de recursos e custos. Meaulo e Pensutti (2011) observam que a administração de materiais em hospitais, em especial nos públicos, é complexa devido às políticas públicas vigentes, às exigências legais para sua aquisição e às necessidades da população e dos profissionais de saúde.

No Brasil, as compras de órgãos e entidades públicas são realizadas por meio de licitação, que, para Meirelles (2002, p. 260) “é o procedimento administrativo mediante o qual a Administração Pública seleciona a proposta mais vantajosa para o contrato de seu interesse”.



Do conceito acima, pode-se depreender que a licitação é um processo efetivado pela Administração Pública, com vistas a obter a proposta mais vantajosa para futura celebração de contrato. Trata-se de um procedimento porque envolve diferentes atos e fatos da Administração e das empresas licitantes, anteriores ao objetivo final, que é o contrato administrativo. É um processo obrigatório para todos os entes públicos no exercício da função administrativa. Num esforço comparativo, Braga, Oliveira, Ferraz e Oliveira (2014) apontam que o setor público baseia seu processo de aquisição em produto e menor preço, com custos e tempo de reposição maiores – considerando o prazo de realização da licitação –, e trabalha com lotes maiores de compra e com especificação rígida. Já as empresas privadas compram com base no fornecedor, estabelecem parcerias, têm custos e tempo de reposição de pedido menores e optam por lotes reduzidos. Além disso, focam mais em qualidade e adotam especificação mais flexível.

Segundo Gil, Chaves e Laus (2015), a comercialização de produtos para a área da saúde está subordinada a legislações que regem a produção e o controle. No Brasil, essa regulação fica a cargo da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que classifica esses bens em cinco categorias, a saber: produtos para diagnósticos de uso *in vitro*; produtos para saúde (materiais e equipamentos); saneantes domissanitários; produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes; e medicamentos. Como exemplo desses materiais, podem ser citados: conectores, dispositivos para acesso venoso, fios de sutura, luvas, seringas e sondas, dentre outros. Reis, Rossaneis, Haddad, Gil e Pissinati (2016) lembram que a qualidade dos materiais médico-hospitalares pode impactar diretamente no atendimento aos pacientes. Desse modo, é necessário que os profissionais que utilizam esses itens estejam atentos a qualquer irregularidade que possam apresentar. Assim, a padronização de materiais médico-hospitalares também é recomendada, por meio do estabelecimento de critérios de qualidade para a aquisição, o que evita desperdício, reduz custos e possibilita melhoria das ações. Esse procedimento leva em conta, ainda, os riscos e os impactos para pacientes, profissionais e meio ambiente (Oliveira, Pandolfi & Veríssimo, 2017).

## 2.2 Problema do Caixeiro Viajante

A Pesquisa Operacional, na visão de Batessini, Coelho e Seta (2018), refere-se a uma área do conhecimento que reúne procedimentos para buscar a solução mais adequada, por meio de cálculos matemáticos, para apoiar a tomada de decisão. Assim, pode ser resumida como modelos quantitativos, podendo ser trabalhados por meio de programas computacionais, que buscam uma simulação válida, a partir de dados relevantes das organizações (Blanck &



Bandeira, 2015). Nesse sentido, a programação linear e a otimização combinatória, ambos métodos da Pesquisa Operacional, têm por objetivo maximizar ou minimizar uma função objetivo, obedecendo a restrições de diferentes dados do mundo real e utilizando equações e inequações lineares, dentro de um conjunto finito. Dessa forma, a programação linear posiciona-se, continuamente, como uma solução para problemas que abrangem recursos escassos (Gomes, Mariz, Silva & Kawamoto, 2019).

Dentre os temas analisados por meio dessas técnicas, pode-se destacar o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) – ou, em inglês, Travelling Salesman Problem (TSP) (Andrade, Reis, Bittencourt, Neves, & Reis 2015; Barbosa et al. 2015). O PCV foi proposto inicialmente por Miller, Tucker e Zemlin (1960), que apresentaram um modelo que indicava uma rota, com a menor distância, a ser percorrida por um vendedor, passando uma única vez em cada cidade que necessitava visitar, partindo e regressando de seu município de origem. O PCV está diretamente ligado ao conceito de grafo, que, segundo Picoli, Santos e Mendes (2019), é formado por pontos e pelas respectivas ligações entre eles. Assim, quando se tem uma rota que passa uma única vez por todos os pontos e inicia e termina no mesmo vértice, tem-se o chamado ciclo hamiltoniano.

Para Souza e Romero (2014), o Problema do Caixeiro Viajante pode ser retratado como a formação de uma rota que se inicia e termina no mesmo ponto (vértice), após passar por vários locais, a fim de reduzir custos, tempo e extensão da viagem. Ao partir da origem e chegar a um outro vértice, é formado um grafo, e os conjuntos dos grafos percorridos formam o arco (caminho). Higino, Chaves e Melo (2017) resumem que o PCV é uma decisão sobre qual veículo deve atender a determinados clientes, formando rotas com o menor custo financeiro ou tempo de execução possível. Sousa e Gonçalves (2014) complementam que esse problema tem sido recorrentemente estudado também na matemática computacional e possui aplicações para a área de transportes. Silva, Silva, Affonso e Oliveira (2013) lembram que essa técnica ainda é empregada para testar novos algoritmos de otimização. Nas últimas décadas, esse algoritmo tem sido desenvolvido por meio de variadas adaptações, de diferentes complexidades, a fim de se adequar às diversas imposições às quais as organizações estão submetidas (Ottoni, Nepomuceno, Cordeiro, Lamperti & Oliveira, 2015).

Segundo Rebouças (2016), apesar do menor trajeto ser a ideia inicial, o PCV pode buscar, também, o menor tempo ou o menor custo na viagem. O algoritmo foi aprimorado, oferecendo solução para diferentes problemas do mundo real, sendo utilizado para resolução de problemas de distribuição, como pode ser observado nos trabalhos a seguir. Silva e Ochi (2016) propuseram uma adaptação do PCV, para uma situação em que as viagens são realizadas em



veículos alugados, intitulada Problema do Caixeiro Alugador. Dessa forma, há a decisão de qual carro deve ser locado e em qual ponto deve ser retirado e devolvido à locadora, de modo a reduzir os custos. Assim, o objetivo aqui é, além da redução da distância percorrida, a minimização dos gastos com aluguel e taxas de retorno. A utilização de frota alugada é apresentada como uma opção crescente para as organizações, havendo, portanto, aplicação prática no mundo real. Os autores utilizaram Algoritmo Evolutivo, que, em quase todas as instâncias testadas, apresentou melhores resultados – em torno de 5,6% – quando comparado a outras técnicas.

Na área da saúde pública, retratada neste trabalho, podem-se destacar as pesquisas de Batessini et al. (2018), que utilizaram programação linear para otimizar o acesso a redes de tratamento de câncer pelo Sistema Único de Saúde (SUS) no Estado do Rio Grande do Sul, reduzindo em cerca de 14,4% a quilometragem percorrida; e de Clarke, Gascon e Ferland (2017), que propuseram um roteamento para distribuição de medicamentos, juntamente com a visita de supervisores, para hospitais em zonas rurais na República Democrática do Congo. Nesse estudo de caso, os autores conseguiram otimizar as rotas e aumentar a frequência das entregas, passando de quadrimestral para mensal, contribuindo para evitar a falta de insumos e a obsolescência, por ultrapassar a data de validade. Trabalhos semelhantes à presente pesquisa foram realizados por Wu (2007) e Cacchiani, Hemmelmayr e Tricoire (2014), que propuseram modelos de programação linear a fim de determinar rotas periódicas para veículos com mesma capacidade e pontos com diferentes periodicidades de entrega. A aplicação de Wu (2007) foi testada com dados da indústria automobilística, enquanto a segunda pesquisa apresentou resultados genéricos, aptos para diversas áreas de negócios. O modelo considera os quantitativos e as frequências de entregas de cada unidade.

### **3 Procedimentos metodológicos**

#### *3.1 Unidade de análise*

A Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais (FHEMIG), organização estudada neste trabalho, é composta por uma rede de 21 hospitais públicos, incluindo os serviços do MG Transplantes. É a maior rede de hospitais públicos da América Latina, prestando atendimento totalmente pelo Sistema Único de Saúde, sendo vinculada à Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (Alemão, Gonçalves, & Drumond, 2013). As unidades oferecem tratamentos de diferentes especialidades médicas e com diversos níveis de complexidade, o que leva a necessidades distintas de itens de consumo. No total, há 21 pontos, localizados em 09 cidades





possível atender a todos os centros consumidores com apenas um veículo e em um mesmo dia. Assim, é necessário planejar a programação das viagens – levando em conta que o pessoal do armazém tem uma limitação de tempo e espaço para a separação e a expedição – e as rotas para cada caminhão, de modo a minimizar os custos da operação, compatibilizando-os com o orçado no contrato firmado. Desse modo, o objetivo deste trabalho é analisar as rotinas de distribuição e as formas de otimizá-las, propondo modelos de roteirização com menores gastos.

### 3.2 Método de trabalho

A presente pesquisa apresenta caráter descritivo, pois evidenciou como os acontecimentos ocorrem naturalmente. Por ter uma abordagem prática, que tentou perceber e propor melhorias para os problemas das organizações, com questões importantes para os *stakeholders* – pacientes, gestores, servidores, sociedade e governo –, caracteriza-se como uma pesquisa aplicada (Gray, 2012). Classifica-se como um trabalho de metodologia quantitativa, devido ao tratamento de dados numéricos para avaliar acontecimentos e/ou categorizá-los em classes mensuráveis, observando as ligações entre as variáveis em diferentes períodos. A fim de coletar dados necessários para construção do modelo – como capacidade dos caminhões, quantitativo entregue em cada visita e consumo de cada unidade – foi realizada uma pesquisa documental – a partir do contrato de locação de veículos para realizar as entregas –, que, conforme defendem Marconi e Lakatos (2010), é a coleta de dados exclusivamente de documentos que constituem fontes primárias.

Para otimizar a rota de distribuição de materiais, foi proposta uma adaptação, a partir do Problema do Caixeiro Viajante, elaborado por Miller et al. (1960), com base no trabalho de Wu (2007), que se concentra na roteirização periódica de veículos para solucionar o problema. Considerando que esse modelo permite a utilização de mais de um veículo, foi utilizado um índice para cada caminhão, a fim de particionar as entregas em mais de uma rota, uma para cada caminhão. Foi observada a frequência de entregas já praticada pela organização – número de entregas por semana ou mês e quantidade em cada entrega. Foi utilizado o programa IBM CPLEX para implementar o modelo.

$i \in \{0, \dots, n\}$  e  $j \in \{0, \dots, n\}$ : representam as unidades hospitalares, referindo-se ao ponto de origem e de demanda, respectivamente, sendo o almoxarifado a unidade 0 e  $n$  a quantidade de unidades;

$k \in \{1, \dots, m\}$ :  $k$  representa cada veículo e  $m$  refere-se ao número de veículos;



$t \in \{1, \dots, T\}$ : refere-se ao dia do mês em que ocorre(m) a(s) entrega(s) em cada unidade hospitalar, sendo  $T$  o horizonte de planejamento, que é de 30 dias;

$d_{ij}$ : representa a distância de uma unidade  $i$  à unidade  $j$ ;

$c_{it}$ : representa a quantidade que será entregue na unidade  $i$  no dia  $t$ ;

$q_k$ : representa a carga de cada caminhão  $k$ ;

$y_{ijkt}$ : variável de decisão binária que indica se o caminhão  $k$  vai da unidade  $i$  à unidade  $j$ , no dia  $t$ , sendo (1) em caso positivo ou (0) em caso contrário;

$u_{it}, u_{jt}$ : variáveis de apoio, para conservação de fluxo, ou seja, o caminhão  $k$  que entra em um ponto de origem  $i$  será o mesmo caminhão  $k$  que irá sair desse ponto de origem.

O modelo utilizado está representado abaixo, sendo reduzido e simplificado para permitir que uma unidade  $i$  seja visitada em um certo período  $t$  apenas se houver material a ser entregue – condição  $C_{jt} > 1$ .

$$\sum_{k=1}^m \sum_{\substack{i=0 \\ c_{ij} \geq 1}}^n \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i \\ c_{ij} \geq 1}}^n \sum_{t=1}^T d_{ij} y_{ijkt} \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum_{k=1}^m \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j \\ c_{it} \geq 1}}^n y_{ijkt} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n, t = 1, \dots, T, c[j][t] \geq 1 \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ c_{jt} \geq 1}}^n y_{0jkt} \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, m, t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j \\ c_{it} \geq 1}}^n y_{ijkt} - \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j \\ c_{it} \geq 1}}^n y_{jik t} = 0 \quad \forall j = t = 1, \dots, T, 1, \dots, n, k = 1, \dots, m, c[j][t] \geq 1 \quad (4)$$

$$u_{it} - u_{jt} + n \sum_{k=1}^m y_{ijkt} \leq n - 1 \quad \forall i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, n, t = 1, \dots, T, i \neq j, c[i][t] \geq 1, c[j][t] \geq 1 \quad (5)$$



$$\sum_{\substack{i=0 \\ c_{it} \geq 1}}^n c_{it} * \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j \\ c_{jt} \geq 1}}^n y_{ijkt} \leq q_k \quad \forall k = 1, \dots, m, t = 1, \dots, T \quad (6)$$

$$y_{ijkt} \in \{0,1\} \quad (7)$$

$$u_{it} \geq 0 \quad \forall i, j = 0, \dots, n, k = 0, \dots, m, t = 1, \dots, T \quad (8)$$

A função objetivo (1) busca otimizar o custo total de transporte por meio da minimização da distância percorrida por todos os veículos. A fim de tornar o modelo compatível com a realidade da organização estudada, são necessárias algumas restrições. O conjunto de equações (2) fixa que, em cada rota, o caminhão passará uma única vez em cada unidade e só passará por um vértice se houver demanda a ser entregue naquele período. O conjunto de inequações (3) impõe a utilização de mais de um caminhão, pois determina mais de uma rota partindo da origem, para diferentes pontos, bem como que o veículo parta em cada período no máximo uma vez. Já o conjunto de restrições (4) garante a conservação do fluxo, o que faz com o que um veículo  $k$  que entra em uma unidade  $i$  seja idêntico ao que sai dela. O conjunto de restrições (5) impossibilita a formação de sub-rotas que não partam do ou cheguem ao almoxarifado – unidade  $i_0$ , determinando a formação de ciclos hamiltonianos. O conjunto de restrições (6) assegura que a capacidade de cada caminhão seja respeitada. O conjunto de restrições (7) indica que a variável de decisão  $y_{ijk}$  será binária e o (8) refere-se à integralidade das variáveis  $u_{it}$ .

#### 4 Análise e discussão de resultados

No caso em tela, foi estabelecida a variável  $k = 5$ , considerando que o atual contrato prevê 05 veículos, com capacidade de 3.500 Kg cada. Ressalta-se que foi utilizado um horizonte de planejamento de 30 dias, sendo desconsideradas entregas nos finais de semana (sábado e domingo), por não haver expediente no almoxarifado. Quanto à configuração dos dados, foi determinado o valor das variáveis inteiras  $n = 21$ ,  $m = 21$ ,  $T = 30$  e definida a matriz  $d_{ij}$ , que indica as distâncias, em quilômetros, de cada ponto de origem  $i$  (almoxarifado e 21 unidades) a cada ponto de chegada  $j$ . A matriz  $c_{it}$  indica a demanda e o(s) dia(s) das entregas e informa se um ponto de chegada  $j$  será visitado no dia  $t$ . A matriz de distâncias foi calculada por meio da ferramenta de rotas do *Google Maps*.



A partir do modelo descrito, foram testados dois cenários, alterando-se a capacidade de carga dos veículos. Para implementar o modelo foi utilizado o programa IBM CPLEX. Ao implementar o modelo considerando uma frota composta unicamente por veículos com capacidade de 3.500 Kg, foram executadas 20 interações, em 0,42 segundos, alcançando um resultado total de 9.755,1 Km. As rotas geradas após a execução são apresentadas a seguir. No dia 01, por exemplo, o veículo 1 sai do almoxarifado e faz a primeira entrega no Hospital Infantil João Paulo II, em Belo Horizonte. Em seguida, retorna ao almoxarifado para um novo carregamento e faz a segunda entrega no Hospital João XXIII. No mesmo dia, o caminhão 2 faz uma única entrega em Patos de Minas, no Hospital Regional Antônio Dias.

**Quadro 01** - Rotas geradas pelo modelo com caminhões com capacidade de 3.500 Kg

<b>Dia</b>	<b>Veículo</b>	<b>Rota</b>
1	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HIJP/Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
1	2	Almoxarifado/Patos de Minas - HRAD /Almoxarifado
2	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
2	2	Almoxarifado/Juiz de Fora - HRJP/Almoxarifado
3	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
3	2	Almoxarifado/Barbacena - HRJA/Almoxarifado
4	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado/Belo Horizonte - HJK/Almoxarifado
4	2	Almoxarifado/Ubá - CSPD/Almoxarifado
5	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado/Belo Horizonte - MOV/Almoxarifado
5	2	Almoxarifado/BambuÍ - CSSFA/Almoxarifado
8	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado/Belo Horizonte - HEM/Almoxarifado
8	2	Almoxarifado/Belo Horizonte - IRS/Almoxarifado/Belo Horizonte - ADC/Almoxarifado
9	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HMAL/Sabará - HCM/Almoxarifado
9	2	Almoxarifado/Belo Horizonte - HIJP/Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
10	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - CMT/Belo Horizonte - CPAI/Almoxarifado
10	2	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
11	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HGV/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
11	2	Almoxarifado/Patos de Minas - HRAD/Almoxarifado
12	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado/Belo Horizonte - MOV/Almoxarifado
12	2	Almoxarifado/Juiz de Fora - HRJP/Almoxarifado
15	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado/Belo Horizonte - HIJP/Almoxarifado



15	2	Almoxarifado/Patos de Minas - HRAD/Almoxarifado
16	1	Almoxarifado/Três Corações - CSSF/Almoxarifado
17	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
17	2	Almoxarifado/Barbacena - CHPB/Almoxarifado
18	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado/Betim - CSSI/Almoxarifado
18	2	Almoxarifado/Barbacena - HRJA/Almoxarifado
19	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado/Belo Horizonte - MOV/Almoxarifado
19	2	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJK/Almoxarifado
22	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado/Belo Horizonte - HIJP/Almoxarifado
22	2	Almoxarifado/BambuÍ - CSSFA/Almoxarifado
23	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
23	2	Almoxarifado/Juiz de Fora - HRJP/Almoxarifado
24	1	Almoxarifado/Barbacena - HRJA/Almoxarifado
24	2	Almoxarifado/Ubá - CSPD/Almoxarifado
25	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
25	2	Almoxarifado/Três Corações - CSSF/Almoxarifado
26	1	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado/Belo Horizonte - MOV/Almoxarifado
26	2	Almoxarifado/Barbacena - CHPB/Almoxarifado

**Fonte:** Elaborado pelos autores, baseado nos dados retornados pelo CPLEX.

O Quadro 01 apresenta as rotas formadas pelo programa quando se utilizam caminhões com 3.500 Kg. Pelas informações demonstradas, percebe-se que a utilização de dois veículos atende à proposta do modelo. Nota-se que os caminhões devem voltar ao almoxarifado para reabastecer-se e realizar uma nova entrega, em unidades da RMBH, dada a sua capacidade. As entregas nos hospitais do interior do estado restringem a reutilização do veículo no mesmo dia, considerando que, pela distância, comprometem a carga horária diária total do motorista. Atenta-se também que, nesse modelo, em apenas um dia há uma entrega e, conseqüentemente, apenas um caminhão em atividade – o que restringe eventuais remanejamentos para entregas emergenciais, se necessário (caso haja alguma perda inesperada do estoque das unidades por roubo, incêndio, ou um aumento da demanda, provocado por acidentes com maior número de vítimas ou outros).



**Quadro 02** - Rotas geradas pelo modelo com um caminhão com maior capacidade

<b>Dia</b>	<b>Veículo</b>	<b>Capacidade</b>	<b>Rota</b>
1	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Barbacena - CHPB/Ubá - CSPD/Almoxarifado
1	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
2	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Barbacena - HRJA/Juiz de Fora - HRJP/Almoxarifado
2	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
3	1	6.500 Kg	Almoxarifado/BambuÍ - CSSFA/Betim - CSSI/Almoxarifado
3	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
4	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HEM/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
4	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Patos de Minas - HRAD/Almoxarifado
5	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HIJP/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
5	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - MOV/Almoxarifado
8	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - ADC/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
9	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Belo Horizonte - HJK/Almoxarifado
9	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Três Corações - CSSF/Almoxarifado
10	1	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
11	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HGV/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
11	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Patos de Minas - HRAD/Almoxarifado
12	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HIJP/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
12	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - MOV/Almoxarifado
15	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Barbacena - HRJA/Juiz de Fora - HRJP/Almoxarifado
15	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
16	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Barbacena - CHPB/Ubá - CSPD/Almoxarifado
17	1	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
18	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HMAL/Sabará - HCM/Belo Horizonte - IRS/Belo Horizonte - CPAI/Belo Horizonte - CMT/Almoxarifado
18	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
19	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HIJP/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
19	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - MOV/Almoxarifado
22	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
22	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Patos de Minas - HRAD/Almoxarifado
23	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Belo Horizonte - HJK/Almoxarifado



23	2	3.500 Kg	Almoxarifado/ Três Corações - CSSF/Almoxarifado
24	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HJXXIII/Almoxarifado
24	2	3.500 Kg	Almoxarifado/BambuÍ - CSSFA/Almoxarifado
25	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Barbacena - HRJA/Juiz de Fora - HRJP/Almoxarifado
25	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HAC/Almoxarifado
26	1	6.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - HIJP/Belo Horizonte - HJXXXIII/Almoxarifado
26	2	3.500 Kg	Almoxarifado/Belo Horizonte - MOV/Almoxarifado

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nos dados retornados pelo CPLEX.

Considerando que se tem unidades no interior relativamente próximas (em cidades vizinhas ou que estejam no trajeto para acessar cidades mais distantes) e que o contrato atual de serviço de transporte da organização estudada prevê o pagamento por quilometragem, testou-se um novo cenário, com a utilização de um veículo com capacidade maior (6.500 Kg) e dos demais, com o mesmo limite atual (3.500 Kg), com algumas alterações no vetor  $C_{it}$ . As rotas formadas pelo *software* são apresentadas no Quadro 02. Dessa forma, as entregas em unidades de cidades próximas do interior são realocadas para um mesmo dia, por exemplo, Barbacena e Juiz de Fora, nos dias 02, 15 e 25. Esse mesmo arranjo ocorreu com as entregas em unidades com menor demanda e que ficam em Belo Horizonte, como os hospitais Júlia Kubitschek e Alberto Cavalcante, nos dias 09 e 23. Nesse caso, foram necessárias 4.464 interações, implementadas em 1,5 segundo, com solução de 7.897,6 Km. Assim, obteve-se uma diferença de 1.857,5 Km a menos, mensalmente, quando se utilizou um veículo com capacidade maior, lembrando que continuam sendo necessários, ao menos, dois veículos – um de 6.500 Kg e outro de 3.500 Kg. Nota-se, ao analisar o Quadro 02, que com um caminhão com maior capacidade, pode-se fazer entregas nas unidades próximas do interior no mesmo dia, o que permite atender a mais de um cliente, consumindo menos quilometragem. Observa-se, ainda, que o veículo maior pode realizar entregas em uma ou mais unidades da RMBH sem ter de retornar ao almoxarifado para reabastecimento, o que permite reduzir a quilometragem e eliminar o tempo do recarregamento.

## 5 Considerações finais

O objetivo deste estudo foi propor modelos de otimização para minimizar os custos com a distribuição de materiais de consumo em uma rede de hospitais, por meio da redução da distância percorrida. Foram considerados dados reais, no tocante à utilização de mais de um veículo, a fim de implementar restrições que oferecessem uma resposta aplicável em termos



práticos. Dessa forma, acredita-se que o modelo permite uma opção de planejamento das rotas que leve a um melhor aproveitamento da utilização dos veículos.

Quanto à otimização das entregas de material às unidades, observou-se, por meio dos cenários testados, que pode estar havendo capacidade ociosa no atual contrato, visto que este prevê a utilização de cinco veículos e que ambos os modelos apresentaram solução com a utilização de apenas dois. Ressalta-se que a adoção de um veículo maior pode representar uma diminuição na quilometragem mensal utilizada, pois permite atender a mais de uma unidade na mesma viagem, como demonstrado no segundo cenário testado, em que foi verificada uma redução de, aproximadamente, 19% em relação ao primeiro cenário – de 9.755,1 Km para 7.897,6 Km.

Na cidade de Belo Horizonte, onde fica localizada uma parte considerável das unidades, tem-se alguns regulamentos que normatizam a circulação de veículos de carga na área central e em algumas regiões com maior fluxo de carros, emitidos pela entidade responsável pela gestão de transporte e trânsito na cidade, que é a BHTRANS (Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte). As Portarias BHTRANS - DPR 138/2009 e 077/2014 estabelecem que a circulação de veículos de carga acima de 5 toneladas ou 6,5 metros de comprimento é proibida de 07 às 20h ou permanentemente, dependendo da região. Entretanto, as mesmas normativas preveem a possibilidade de autorização especial em algumas situações. Algumas das unidades da rede retratada neste trabalho, localizadas em Belo Horizonte, estão na chamada área hospitalar – bairro que contém vários hospitais e demais serviços de saúde, públicos e particulares, e que está incluído nessa zona de restrição de circulação. Entre essas unidades estão o Hospital João XXIII, o Hospital Infantil João Paulo, a Administração Central, o Instituto Raul Soares e outros. Assim, essa autorização especial poderia atender a outros hospitais, que não fazem parte da rede, mas possuem localização próxima.

Quanto aos veículos, observa-se no mercado, dentre as principais fabricantes de automóveis de carga leve e semileve, algumas possibilidades de caminhões com condições suficientes para atender à proposta do segundo cenário – um veículo com capacidade de 6.500 Kg – e que atendem também às restrições de comprimento impostas pelas normas de circulação de Belo Horizonte. Considerando que a rede estudada é pública, sendo obrigatória a adoção da legislação de licitação e contratação de serviços, optou-se apenas por verificar se há modelos compatíveis disponíveis no mercado, não se indicando aqui as marcas, o que seria vedado pelas normas de compras públicas.



Quanto às limitações da pesquisa, no tocante à distribuição, a capacidade dos veículos, em termos de volume, não foi considerada. Como indicações de futuras pesquisas, recomenda-se implementar restrições que considerem a jornada de trabalho máxima diária dos motoristas. Ressalta-se, ainda, que o uso de um veículo de dimensões maiores poderia acarretar um custo maior do quilômetro rodado, pois poderia aumentar gastos com combustível e manutenção e requerer alterações na sinalização de trânsito das unidades localizadas em regiões de maior movimento. Entretanto, são mudanças que poderiam beneficiar outros hospitais e organizações vizinhas, que também recebem constantes entregas. Dessa forma, recomenda-se uma avaliação do custo-benefício de se utilizar um veículo maior e do impacto que isso pode trazer aos custos do contrato.

## 6 Agradecimentos

Os autores agradecem à FHEMIG, pela disponibilização dos dados utilizados na pesquisa, que foi devidamente submetida ao Comitê de Ética de Pesquisa da organização estudada, sendo aprovada por meio do Parecer Consubstanciado CEP nº 2.372.973, de 09/11/2017, que autorizou a realização do trabalho.

## Referências

- Alemão, M. M., Gonçalves, M. A., & Drumond, H. A. (2013). Estudo da utilização da informação de custos como ferramenta de gestão em organização pública: o estudo do SIGH–custos. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, 3(1), 210-226. Recuperado em 03 julho, 2017, de <http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/pgc>
- Almeida, A. V. C., Tavares, D. M. L., Melo, A. C. S., Nunes, D. R. L., & Negrão, L. L. L. (2016). Melhorias no ressuprimento de itens de consumo em uma universidade pública no Estado do Pará. *Revista Perspectivas Online: exatas & engenharia*, 6(16), 12-26. Recuperado em 18 dezembro, 2017, de [http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/exatas\\_e\\_engenharia/article/view/660](http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/exatas_e_engenharia/article/view/660)
- Amaral, J. A., & Guerreiro, R. (2014). Mensuração dos impactos econômico-financeiros dos *trade-offs* entre os custos de manutenção de inventários e de transporte. *Enfoque: Reflexão Contábil*, 33(2), 55-69. Recuperado em 06 novembro, 2017, de <https://www.redalyc.org/pdf/3071/307131831005.pdf>
- Andrade, B. D. A., Jr., Reis, T. C. B., Bittencout, F. R., Neves, P. C. B., & Reis, J. A. (2016, agosto). *Programação linear aplicada à problemas de designação de mão de obra baseada nas competências profissionais*. Anais do Simpósio de Pesquisa Operacional & Logística da Marinha, São Paulo, SP, Brasil, 18. DOI: 10.5151/marine-spolm2015-140482



- Araújo, E. A., Araújo, A. D., & Musetti, M. A. (2012). Estágios organizacionais da logística: estudo de caso em organização hospitalar filantrópica. *Revista Produção*, 22(3), 49-563. Recuperado em 24 junho, 2017, de <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132012005000045>
- Barbosa, D. F., Silla, C. N., Jr., & Kashiwabara, A. Y. (2015, maio). *Aplicação da otimização por colônia de formigas ao problema de múltiplos caixeiros viajantes no atendimento de ordens de serviço nas empresas de distribuição de energia elétrica*. Anais do Brazilian Symposium of Information System, Goiânia, GO, Brasil, 11. Recuperado em 21 agosto, 2019, de <https://pdfs.semanticscholar.org/33f8/964a87917c5c58805b78af5842ed8db681b8.pdf>
- Batessini, M., Coelho, H. S., & Seta, M. H. (2018). Uso de programação linear para otimizar o acesso geográfico em redes temáticas de atenção à saúde. *Cadernos de Saúde Pública*, 3(4), 1-14. DOI:10.1590/0102-311X00055017
- Blanck, M., & Bandeira, D. L. (2015). Análise da capacidade operacional de um centro cirúrgico: modelagem matemática aplicada ao dimensionamento e alocação de recursos. *Revista de Gestão*, 22(4), 565-583. DOI:10.5700/578
- Braga, G. G. A., Oliveira, F. A. G., Ferraz, S. F. S., & Oliveira, M. J. L. (2014, outubro). *O processo logístico de compra, armazenamento e distribuição: um estudo comparativo entre organizações públicas e privadas*. Anais do Seminários em Administração, São Paulo, SP, Brasil, 17. Recuperado em 21 agosto, 2018, de <http://sistema.semead.com.br/17semead/resultado/trabalhosPDF/1315.pdf>.
- Cacchiani, V.; Hemmelmayr, V.C.; & Tricoire, F. (2014). A set-covering based heuristic algorithm for the periodic vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 163, 53-64. Recuperado em 18 março, 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.dam.2012.08.032>
- Carvalho, L. S., Martins, T. M., Oliveira, M. A., Silva, M. D., Santos, J. P., Santos, J. A., & Araújo, P. J. L. (2014). Redução de custo com combustível para uma frota. *Cadernos de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas Unit*, 2(1), 55-62. Recuperado em 26 agosto, 2019, de <https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoeatas/article/view/896/725>
- Clarke, J., Gascon, V., & Ferland, J. A. (2017). A Capacitated Vehicle Routing Problem With Synchronized Pick-Ups and Drop-Offs: The Case of Medication Delivery and Supervision in the DR Congo. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 64(3), 327-336. DOI:10.1109/tem.2017.2673541
- Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte. *Legislação urbanística*. Recuperado em 05 setembro, 2019, de <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/informacoes/legislacao-urbanistica>
- Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais. (2017). *Sobre o órgão*. Recuperado em 02 novembro, 2017, de <http://www.fhemig.mg.gov.br/>
- Garcia, S. D., Haddad, M. C. L., Dellaroza, M. S. G., Costa, D. B., & Miranda, J. M. (2012). Gestão de material médico-hospitalar e o processo de trabalho em um hospital público. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 54(2), 339-346. Recuperado em 08 março, 2018, de <http://www.scielo.br/pdf/reben/v65n2/v65n2a21.pdf>



- Gil, R. B.; Chaves, L. D. P.; & Laus, A. M. (2015). Gerenciamento de recursos materiais com enfoque na queixa técnica. *Revista Eletrônica de Enfermagem*, 17(1), 100-107. Recuperado em 31 julho, 2017, de <http://dx.doi.org/10.5216/ree.v17i1.27544>
- Gomes, J., Mariz, E. D., Silva, A. M., & Kawamoto, L. T., Jr. (2019). Programação linear aplicada à mobilidade urbana: análise do trajeto da residência à escola de estudantes universitários. *Revista ENIAC Pesquisa*. 8(2), 280-297. Recuperado em 21 agosto, 2019, de <http://dx.doi.org/10.22567/rep.v8i2.581>
- Gray, D. E. (2012). *Pesquisa no mundo real*. (2. ed.) São Paulo: Penso.
- Higino, W., Chaves, A. A., & Melo, V. V. (2017, agosto). Univariate Marginal Distribution Algorithm and Random Variable Neighbourhood Descent Applied to the Vehicle Routing Problem with Private Fleet and Common Carrier. *Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Blumenau, SC, Brasil, 59. Recuperado em 26 agosto, 2019, de <http://www.sbp2017.iltc.br/pdf/168052.pdf>
- Marconi, M. A.; & Lakatos, E. M. (2010). *Fundamentos de metodologia científica*. (7a ed.) São Paulo: Atlas.
- Meaulo, M. P.; & Pensutti, M. (2011, dezembro). A gestão de estoques em ambientes hospitalares: analisando a utilização de ferramentas de gestão de materiais em ambientes hospitalares públicos e filantrópicos no município de Santa Bárbara D'Oeste. *Anais do Congresso Virtual Brasileiro de Administração*, 8. Recuperado em 09 março, 2018, de [http://www.convibra.com.br/upload/paper/adm/adm\\_3253.pdf](http://www.convibra.com.br/upload/paper/adm/adm_3253.pdf)
- Meirelles, H. L. (2002). *Direito administrativo brasileiro*. (27a ed.). São Paulo: Malheiros.
- Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin, R. A. (1960). Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems. *Journal of Association for Computing Machinery*, 7(4), 326-329. Recuperado em 21 agosto, 2019, de <https://dl.acm.org/doi/10.1145/321043.321046>
- Oliveira, M. M.; Pandolfi, E. S.; & Veríssimo, T. D. C. (2017). Padronização no processo de compra: o enfermeiro como executor. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*, 8(1), 60-77. Recuperado em 31 julho, 2017, de <http://www.faema.edu.br/revistas/index.php/Revista-FAEMA/article/view/485>
- Oliveira, T. S., & Musetti, M. A. (2014). Revisão compreensiva de logística hospitalar: conceitos e atividades. *Revista de Gestão em Sistemas de Saúde*, 3(1), 1-13. Recuperado em 25 junho, 2019, de <http://dx.doi.org/10.5585/rgss.v3i1.90>
- Otoni, A. L. C., Nepomuceno, E. G., Cordeiro, L. T., Lamperti, R. D., & Oliveira, M. S. (2015, outubro). Análise do desempenho do aprendizado por reforço na solução do problema do caixeiro viajante. *Anais do Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, Natal, RN, Brasil, 12. Recuperado em 21 agosto, 2019, de <http://swge.inf.br/SBAI2015/anais/017.pdf>
- Picoli, J. G., Santos, R. V. M., & Mendes, T. M. (2019). Proposta de uma ferramenta computacional para facilitar a aprendizagem sobre caminhamento em grafos. *Brazilian*



*Applied Science Review*, 3(1), 712-720, de <http://www.brjd.com.br/index.php/BASR/article/view/864/742>

- Raimundo, E. A., Dias, C. N., & Guerra, M. (2015). Logística de medicamentos e materiais em um hospital público do Distrito Federal. *Revista de Administração Hospitalar e Inovação em Saúde*, 12(2), 61-69. Recuperado em 24 junho, 2017, de <http://dx.doi.org/10.21450/rahis.v12i2.2384>
- Raymundo, E. A., Gonçalves, L. W. N., & Ribeiro, N. S. (2015). Pesquisa operacional na tomada de decisão: modelo de otimização de produção e maximização do lucro. *Revista de Gestão & Tecnologia*, 3(1), 11-16. Recuperado em 06 novembro, 2017, de <https://doi.org/10.24279/jmgmt.v3i1.169>
- Rebouças, R. S. (2016). *Problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios e janelas de tempo*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil. Disponível: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/321008>
- Reis, G. A. X., Rossaneis, M. A., Haddad, M. C. F., Gil, R. B., & Pissinati, P. S. (2016). Análise das notificações de queixa técnica de material médico-hospitalar em um hospital sentinela. *Revista Visa em Debate*, 4(1), 52-57. Recuperado em 31 julho, 2017, de <http://doi:10.3395/2317-269x.00588>
- Rodrigues, L. L. F., Oliveira, I. H. I., Castorani, R. R., & Alexandre, M. F. (2016). A viabilidade de aplicação da pesquisa operacional para a solução de problemas complexos de transporte. *Revista INOVAE*, 4(2), 54-68. Recuperado em 03 novembro, 2017, de <http://www.revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1311/1119>
- Santos, A. B., & Santos, J. Q. (2017). O processo logístico como estratégia empresarial: um estudo de caso em uma indústria alimentícia de animais. *Revista Formadores: Vivência e Estudo*, 10(1), 45-62. Recuperado em 26 agosto, 2019, de <http://www.seer-adventista.com.br/ojs/index.php/formadores/article/view/800/652>
- Scheidegger, A. P. G. (2014). *Sistematização do processo de reposição de estoques no setor público: pesquisa-ação no almoxarifado da Universidade Federal de Itajubá*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil. Disponível: <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/313>
- Silva, A. R. V., & Ochi, L. S. (2016, setembro). Um Algoritmo Evolutivo para o Problema do Caixeiro Alugador. *Anais do Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, Gramado, RS, Brasil, 36. Recuperado em 21 agosto, 2019, de <https://doi.org/10.5540/03.2017.005.01.0460>
- Silva, D. J. A., Silva, J. A. L., Affonso, A. M., & Oliveira, R. C. L. (2013, outubro). Uso de algoritmo cultural com uma nova abordagem memética por meio do simulated annealing para o problema do caixeiro viajante. *Anais do Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, Fortaleza, CE, Brasil, 9. Recuperado em 21 agosto, 2019, de <http://www.sbai2013.ufc.br/pdfs/5340.pdf>



- Silva, L. C, Filho, & Silva, F. I. (2015). A logística na gestão de transporte. *Cadernos Unisuam de Pesquisa e Extensão*, 5(4), 1-9. Recuperado em 21 agosto, 2019, de <http://apl.unisuam.edu.br/revistas/index.php/cadernosunisuam/article/view/859/661>
- Sousa, M. M., & Gonçalves, L. B. (2014, setembro). Comparação de abordagens heurísticas baseadas em algoritmo memético para o problema do caixeiro viajante com seleção de hotéis. *Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Salvador, BA, Brasil, 46. Recuperado em 26 agosto, 2019, de <http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2014/pdf/arq0302.pdf>
- Souza, D. O.; & Rosa, R. S. (2015). Compras nacionais e internacionais em um hospital de capacidade extra. In: R. Bordin; D. J. Demarco; & F. B. Meira (Orgs.). *Gestão em saúde no Rio Grande do Sul: casos, análises e práticas*. (vol. 2, cap.2, pp. 253-279). Porto Alegre: Evangraf. Recuperado em 08 março, 2018, de <http://hdl.handle.net/10183/159760>
- Souza, S. S. F., & Romero, R. (2014, setembro). Algoritmo Imunológico Artificial CLONALG e Algoritmo Genético Aplicados ao Problema do Caixeiro Viajante. *Anais do Congresso de Matemática Aplicada e Computacional Sul*, Curitiba, PR, Brasil, 1. Recuperado em 21 agosto, 2019, de <https://proceedings.sbmac.org.br/sbmac/article/view/307/309>
- Wu, L. (2007). *O problema de roteirização periódica de veículos*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. Disponível: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-01082007-175300/publico/DissertacaoEdRev LWu.pdf>.