

APLICAÇÃO DA OTIMIZAÇÃO EM REDES EM UMA EMPRESA DO SETOR AVÍCOLA

Luana Teixeira Sousa

luanatssousa@gmail.com

Ananda Gianotto Veiga

nanda.gianotto@gmail.com

Mariana Ferreira de Carvalho Chaves

marianafcchaves20@gmail.com

Marcus Vinicius Vaz

marcusvazvinicius@gmail.com

Stella Jacyszyn Bachega

stella.bachega@gmail.com



Com o intuito de satisfazer as necessidades dos clientes, diminuir o tempo de entrega, as rotas e os custos, as organizações necessitam de uma gestão adequada dos fatores que possam influenciar os processos de decisões tomadas por elas. Diante disso, o presente artigo tem como objetivo aplicar o problema do caminho mais curto para otimizar a rota de uma granja, encontrando o caminho mais curto entre a empresa localizada no Centro-Oeste brasileiro até o seu cliente mais distante. A fim de atingir o objetivo proposto, foi adotada a abordagem de pesquisa quantitativa, o procedimento de pesquisa experimental, por meio do uso da modelagem matemática, com o auxílio da ferramenta Solver do Excel® para resolução do problema. Ao utilizar a técnica apresentada, pôde-se observar que o menor caminho obtido entre a empresa e o destino final (cliente oito) tem a distância mínima de 1.052,7 quilômetros. É importante salientar a contribuição deste trabalho como fonte bibliográfica de aplicação de uma técnica da pesquisa operacional na realidade de uma empresa de pequeno porte, que auxilia no processo decisório logístico quanto a definição de rotas de menor distância.

Palavras-chave: Problema do Caminho Mais Curto, otimização em redes, Pesquisa Operacional, Processo Decisório Logístico, rota



XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
"A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil"

Maceió, Alagoas, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2018.

1. Introdução

A avicultura de postura é caracterizada pela produção de ovos a partir do confinamento de aves previamente selecionadas para esse fim, em ambientes controlados. Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA (2016), a produção de ovos em 2015 foi superior a 39,5 bilhões de unidades, sendo que no mundo todo são produzidos cerca de um trilhão de ovos/ano. Dentre os maiores produtores mundiais destacam-se a China com um terço da produção mundial, seguida pelos Estados Unidos, Índia, Japão, México, Rússia e Brasil (ABPA, 2016; GESSULLI AGRIBUSINESS, 2017).

No território nacional, o estado de São Paulo é o maior produtor de ovos, visto que em 2015 foi responsável por 33,24% da produção total do país. Considerando a área de pesquisa deste trabalho, tem-se que Goiás, incluindo o Distrito Federal, produz o equivalente a 3,84% da produção, ocupando a nona posição dentre os estados brasileiros em produtividade de avicultura de postura (ABPA, 2016).

Os sistemas logísticos são partes centrais das estratégias competitivas, sendo relevantes para todos os setores. Em vista disto, a logística empresarial pode promover um melhor nível de rentabilidade nos serviços de distribuição aos clientes, por meio do planejamento, da organização e do controle das atividades de movimentação que possuem como propósito facilitar o fluxo de produtos (BALLOU, 1993). Serviços logísticos são medidos em termos de disponibilidade de produtos, desempenho operacional na entrega destes e a confiabilidade de serviço relacionada à qualidade da entrega (BOWERSOX; CLOSS, 2007). Com a logística aliada a técnicas de Pesquisa Operacional (PO), pode-se obter melhoria do processo decisório empresarial.

A PO tem largo emprego em diversas áreas técnicas de empresas de vários portes. Consiste na aplicação de métodos científicos em problemas dos setores econômicos, de transportes e materiais, buscando, por meio da simplificação de modelos matemáticos, apresentar soluções ótimas de emprego dos recursos disponíveis (PASSOS, 2008). Além disso, tem impacto na melhoria da eficiência das organizações e, também, contribui para o crescimento da

produtividade econômica em diversos países. Tanto a Ásia quanto a Europa possuem federações de PO com o propósito de coordenar as conferências internacionais e publicações, demonstrando a importância de pesquisas na área (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Os modelos de Otimização em Redes fornecem uma ferramenta conceitual que facilita a visualização das relações existentes entre componentes do problema proposto. As representações a partir desses modelos são relevantes ao ponto de serem utilizadas em praticamente todos os campos de empreendimentos científicos. São amplamente empregadas em situações de áreas diversas, como distribuição, posicionamento de instalações e planejamento de projetos (HILLIER; LIEBERMAN, 2013; LACHTERMACHER, 2009).

Segundo Ballou (1993), a atividade de transporte deve ser realizada pelas empresas para prover os bens e serviços adquiridos por seus clientes, quando e onde quiserem, com a qualidade e condição física que desejarem, satisfazendo, assim, as exigências dos consumidores. Haja vista as vantagens competitivas que podem ser proporcionadas pela satisfação dos clientes, diminuição dos custos, das rotas e do tempo de entrega, tem-se a seguinte questão de pesquisa: como designar um caminho ótimo para chegar ao cliente mais distante de uma empresa?

Assim, o objetivo do presente trabalho é aplicar um modelo de otimização em redes, mais especificamente o problema do caminho mais curto, em uma granja localizada no Centro-Oeste brasileiro a fim de determinar o caminho mínimo entre os nós de origem e destino. A presente pesquisa justifica-se pela importância do tema, como pode ser visto nos trabalhos de Alvaia et al. (2017), Coelho et al. (2016), Diniz et al. (2017) e Vasconcelos et al. (2017), entre outros. Para cumprir o objetivo, a estrutura do trabalho é a que segue: na próxima seção encontra-se a revisão bibliográfica, na terceira seção está situada a metodologia adotada, na quarta seção têm-se os resultados e discussão e, por fim, na quinta seção são apresentadas as considerações finais.

2. Revisão bibliográfica

Nesta seção, há a exposição de conteúdo teórico sobre modelo de otimização em redes e sobre o problema do caminho mais curto.

2.1. Modelo de otimização em redes

As redes aparecem em diversos ambientes de maneiras diferenciadas (HILLIER; LIEBERMAN, 2013), como em oleodutos, gasodutos, redes de esgoto, de água, de energia elétrica, telefônica, entre outros (PASSOS, 2008). A representação em rede proporciona uma ferramenta conceitual e visual que pode ser útil em quase todos os campos dos empreendimentos científico, social e econômico (HILLIER; LIEBERMAN, 2013), principalmente em casos especiais de programação linear, uma vez que estes são avaliados de maneira mais satisfatória mediante a representação gráfica (LACHTERMACHER, 2009). Dessa forma, a montagem de esquemas em formato de rede é constantemente utilizada para problemas de áreas distintas como produção, distribuição, planejamento de projetos, posicionamento de instalações, administração de recursos e planejamento financeiro (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Rede é uma ilustração esquemática de pontos, vértices, nós ou nodos, que são ligados por linhas, ramos, arestas, ligações ou arcos. Os nós são representados por círculos, em cujo interior é posto um número ou letra para identificá-lo, e simbolizam o início e o fim de uma etapa ou operação. Enquanto que os arcos são caracterizados por setas, que conectam os nós, e representam custos, capacidade de peso, distâncias, tempo etc. (BRONSON, 1985; LACHTERMACHER, 2009; PASSOS, 2008). Além disso, os valores que podem representar capacidade, distância ou tempo são posicionados acima dos arcos (PASSOS, 2008).

Muitas situações relacionadas com a tomada de decisão são classificadas como problemas de rede, tais como: transporte, escala de produção, rede de distribuição, menor caminho, fluxo máximo e caminho crítico (LACHTERMACHER, 2009). Dentre as técnicas citadas, a de menor caminho foi a selecionada para a execução do trabalho.

2.2. Problema do caminho mais curto

As questões de menor caminho são casos especiais de problemas de rede, uma vez que as linhas são as distâncias entre dois nós. Neste algoritmo o objetivo é determinar a rota que une os pontos com a menor distância possível (LACHTERMACHER, 2009). Tal técnica também pode ser resolvida por meio do método de Dijkstra, sendo majoritariamente utilizada para distâncias a percorrer, tempo de percurso, custo associado à carga e tonelage a transportar (PASSOS, 2008).

Tendo como objetivo designar o trajeto total mínimo entre dois nós (HILLIER; LIEBERMAN, 2013), o problema de caminho mais curto se resume em uma rede conectada e não direcionada com dois nós especiais, chamados de origem (fonte) e de destino (sumidouro), ligados por uma distância não negativa (BRONSON, 1985; HILLIER; LIEBERMAN, 2013; LACHTERMACHER, 2009). Habitualmente, entre eles há nós intermediários, representando cidades, subestações, dentre outros (LACHTERMACHER, 2009). Contudo, nem todas as aplicações dessa técnica são relacionadas com a minimização da distância percorrida da origem até o destino. Os ramos podem simbolizar atividades, o custo delas ou o tempo de processamento. Assim, pode-se classificar o caminho mais curto em três categorias: minimizar a distância total percorrida; reduzir o custo total de uma sequência de atividades; e diminuir o tempo total de uma sequência de atividades (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A programação linear pode ser utilizada para obter a solução desse tipo de problema, por meio do método simplex. Desse modo, o modelo apresentará uma função objetivo, as restrições e as condições de não-negatividade (LACHTERMACHER, 2009; PASSOS, 2008). Mesmo que esse método não seja tão eficaz quanto os outros algoritmos especializados para esses tipos de problema, é adequado para impasses de dimensões substanciais. O Excel[®] pode ser utilizado para a efetuação da modelagem, uma vez que se baseia no método genérico, mais precisamente com a ferramenta Solver[®] (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

De acordo com Passos (2008), durante a modelagem devem ser levados em consideração os seguintes pontos: i) x_{ij} : é a variável que descreve a distância do nó i ao nó j ; ii) os arcos que chegam a um nó são representados positivamente e os que saem, negativamente. Em cada nó, a soma das entradas e saídas é igual à zero; iii) para o primeiro nó a soma da saída deve

receber o valor -1 e para o último nó a soma das chegadas recebe o valor 1. Conforme Hillier e Lieberman (2013), o arco incluído no caminho recebe o fluxo de 1, por outro lado, o arco não incluído recebe fluxo de valor 0.

Assim, Goldbarg e Luna (2005), resumem a formulação matemática apresentada no conjunto de equações 1.

$$\text{Minimizar } z = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a: (1)

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{(k,i) \in A} x_{ki} = \begin{cases} -1 & \text{se } i = o \\ 0 & \text{se } i \neq o \text{ e } i \neq d \\ +1 & \text{se } i = d \end{cases}$$
$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (i,j) \in A$$

Sendo que o e d simbolizam os vértices de início e término do caminho (GOLDBARG; LUNA, 2005). Já c_{ij} é a constante que representa a distância entre a cidade i e a cidade j , e acompanha a variável binária x_{ij} que representa o sentido da cidade i para a j (LACHTERMACHER, 2009).

3. Metodologia

Acerca da abordagem de pesquisa, empregou-se a pesquisa quantitativa que observa as informações numericamente, identifica as variáveis e as relaciona por meio de abordagens matemáticas (CRESWELL, 2010). Quanto aos procedimentos de pesquisa, utilizou-se o procedimento experimental, uma vez que se selecionaram as variáveis fundamentais capazes de influenciar o estudo, estabelecendo relação de causa e efeito (FANTINATO, 2015; SANTOS, 2004).

A empresa objeto de estudo é uma granja localizada no Centro-Oeste brasileiro. Atuante no mercado há aproximadamente 40 anos, possui o propósito de entregar produtos de qualidade, sempre prezando pela higiene durante todo o seu processo produtivo, além de desenvolver a própria ração para as aves. Detém cerca de oitenta e cinco funcionários e comercializa três

tipos de produtos, sendo eles: ovos, galinhas e esterco, com foco na produção de ovos. A granja vem crescendo significativamente ao longo dos anos e atende diversas cidades em estados vizinhos. Realiza entregas para varejistas e representantes comerciais, que em seguida, distribuem os produtos aos consumidores.

A coleta de dados ocorreu por meio de uma entrevista semiestruturada com o proprietário da organização. Buscou-se ter conhecimento de todas as atividades, produtos e processos da empresa para, posteriormente, recolher as informações mais relevantes ao estudo. Os dados relacionados à distribuição logística de ovos para os varejistas são significantes, uma vez que o objetivo da pesquisa é otimizar a rota de entrega da granja. As informações referentes aos pontos de entrega foram coletadas em janeiro de 2018 e utilizou-se a ferramenta Google Maps[®] para determinar as distâncias relativas. Conforme Lima, Lima e Pons (2009), não se pode desprezar o auxílio do Google Earth[®], apesar de se conhecer questões sobre a precisão desta ferramenta.

Os dados coletados foram analisados e utilizados na modelagem do problema do caminho mais curto via programação linear inteira. A essência desse algoritmo é identificar a distância total mínima entre nó de origem da rede até o nó de destino. Fundamentou-se o estudo de PO a partir das fases definidas por Hillier e Lieberman (2013), sendo elas: definir o problema e coletar os dados; formular um modelo matemático para representar o problema; desenvolver um procedimento funcional a fim de solucionar o problema proposto; testar o modelo e aprimorá-lo; preparar para a aplicação contínua do modelo; e implementar. Deve-se salientar que os passos referentes à aplicação do modelo e implementação excedem o escopo deste trabalho, já que é critério do proprietário.

Feita a coleta dos dados relevantes, desenvolveu-se o modelo matemático com o intuito de solucionar o problema de pesquisa. Utilizou-se a planilha eletrônica do MS-Excel[®] com a ferramenta Solver[®], seguindo as instruções de Lachtermacher (2009) para a resolução do problema, designando o caminho mais curto entre a granja e seu cliente mais distante.

4. Resultados e discussão

Na presente seção há a exposição do problema pesquisado, sua formulação matemática e os resultados obtidos por meio da ferramenta Solver[®].

4.1. Determinação do problema

A principal atividade da organização selecionada para o presente estudo consiste na distribuição dos ovos produzidos. Caracterizada como uma empresa de pequeno porte, o presente estudo focou na sua rede logística de varejistas, abrangendo sete cidades que foram representadas pelos nós simbolizados pelos números: 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8. Além disso, a granja, o nó de partida, foi indicada pelo algarismo 1. O nó de chegada, ou seja, o ponto mais distante, correspondente ao nó 8, representando o destino. Os dados utilizados no modelo situam-se na Tabela 1. É notório que a maior distância encontrada foi entre os nós 6 e 8, totalizando 560 km.

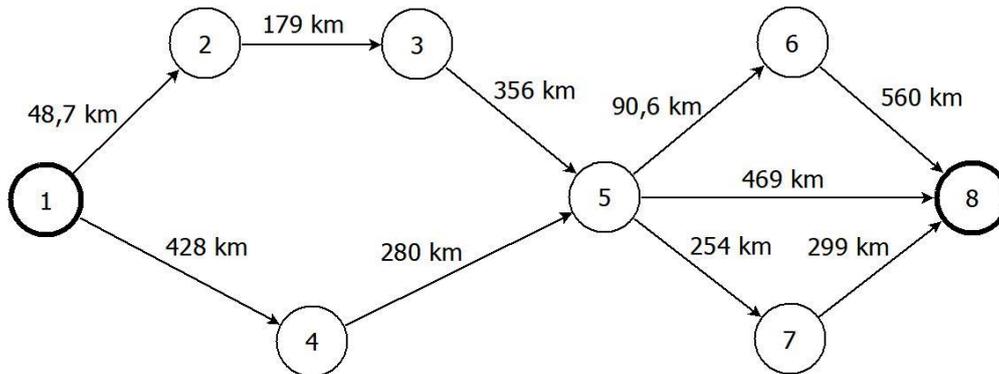
Tabela 1 - Distância entre a granja e as cidades de entrega

De	Para	Distâncias (km)
1	2	48,7
1	4	428
2	3	179
3	5	356
4	5	280
5	6	90,6
5	7	254
5	8	469
6	8	560
7	8	299

Fonte: Dados da pesquisa

Com as rotas definidas foi possível representar o modelo em forma de rede, conforme ilustrado na Figura 1 a seguir. Na imagem é notória a ênfase para os nós de partida e de chegada.

Figura 1 - Rede do modelo apresentado



Fonte: Dados da pesquisa

4.2. Formulação do modelo matemático para a representação do problema

Com os dados coletados e as possíveis rotas definidas, realizou-se a modelagem do problema de acordo com o modelo de Hillier e Lieberman (2013). Assim, tem-se que as variáveis binárias X_{ij} relacionadas à rede da Figura 1 são:

X_{12} – Granja (1) até Formosa (2) – 48,7 Km.

X_{14} – Granja (1) até Campos Belos (4) – 428 Km.

X_{23} – Formosa (2) até Alvorada do Norte (3) – 179 Km.

X_{35} – Alvorada do Norte (3) até Barreiras (5) – 356 Km.

X_{45} – Campos Belos (4) até Barreiras (5) – 280 Km.

X_{56} – Barreiras (5) até Luís Eduardo Magalhães (6) – 90,6 Km.

X_{57} – Barreiras (5) até Ibotirama (7) – 254 Km.

X_{58} – Barreiras (5) até Irecê (8) – 469 Km.

X_{68} – Luís Eduardo Magalhães (6) até Irecê (8) – 560 Km.

X_{78} – Ibotirama (7) até Irecê (8) – 299 Km.

O intuito é escolher o caminho mais curto entre a granja e a cidade mais longe para a qual a empresa realiza entrega, com isso, a função objetivo é de minimização. Dessa maneira, a função objetivo, apresentada como o somatório dos produtos entre as variáveis binárias e suas respectivas distâncias, é exposta na equação 2.

$$\text{MIN } Z = 48,7X_{12} + 428X_{14} + 179X_{23} + 356X_{35} + 280X_{45} + 90,6X_{56} + 254X_{57} + 469X_{58} + 560X_{68} + 299X_{78} \quad (2)$$

Assumindo que a origem tem valor igual a 1, o destino é -1 e os nós intermediários apresentam o valor 0, as restrições do modelo são apresentadas no conjunto de equações 3.

$$\text{Nó 1: } -(X_{12} + X_{14}) = -1$$

$$\text{Nó 2: } X_{12} - X_{23} = 0$$

$$\text{Nó 3: } X_{23} - X_{35} = 0$$

$$\text{Nó 4: } X_{14} - X_{45} = 0 \quad (3)$$

$$\text{Nó 5: } X_{35} + X_{45} - X_{56} - X_{57} - X_{58} = 0$$

$$\text{Nó 6: } X_{56} - X_{68} = 0$$

$$\text{Nó 7: } X_{57} - X_{78} = 0$$

$$\text{Nó 8: } X_{58} + X_{68} + X_{78} = 1$$

Sendo a restrição de não-negatividade representada na equação 4.

$$X_{12}; X_{14}; X_{23}; X_{35}; X_{45}; X_{56}; X_{57}; X_{58}; X_{68}; X_{78} \geq 0 \quad (4)$$

Após o modelo matemático ser formulado, utilizou-se a ferramenta Solver[®] para a modelagem computacional do problema.

4.3. Resolução do problema

Na Tabela 2, as colunas 'De' e 'Para' representam as ligações entre os nós de partida e os nós de chegada, respectivamente. Percebe-se que na coluna 'Rota Selecionada' há dois tipos de valores, 0 ou 1 (números binários), sendo que quando o valor atribuído é 0, não há seleção do

arco para compor o caminho. No entanto, quando o número apresentado é 1, o arco é selecionado. Assim, foi possível obter o caminho mais curto entre a origem e o destino. Além disso, a distância total de todo o trajeto foi determinada.

Tabela 2 - Resultados provenientes do Solver

De	Para	Distância (km)	Rota selecionada
1	2	48,7	1
1	4	428	0
2	3	179	1
3	5	356	1
4	5	280	0
5	6	90,6	0
5	7	254	0
5	8	469	1
6	8	560	0
7	8	299	0
Distância total			1.052,7

Fonte: Dados de pesquisa

Com base nos resultados apresentado na Tabela 2, a rota obtida com a distância mínima entre a granja (nó 1) e a cidade onde o cliente mais distante se encontra (nó 8) é constituída pelos nós 1, 2, 3, 5 e 8 com o comprimento correspondente de 1.052,7 quilômetros.

Todo o produto deve ser entregue até o ponto mais distante (nó oito) e que tem como origem a granja (nó um). Além disso, a coluna 'Fluxo Líquido' corresponde ao LHS (*Left Hand Side*) das restrições e a coluna de 'Oferta/Demanda', o RHS (*Right Hand Side*), como pode ser notada na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados proporcionados pelo Solver

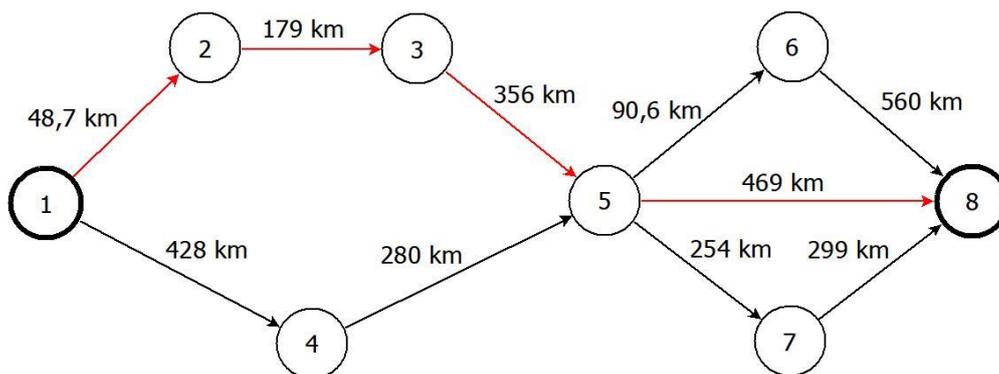
Nós	Fluxo Líquido	Oferta/Demanda
1	-1	-1
2	0	0
3	0	0
4	0	0

5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	1	1

Fonte: Dados da pesquisa

Dessa forma, pode-se averiguar na Figura 2 a solução ótima e o respectivo caminho mínimo em destaque.

Figura 2 - Rede com o caminho mínimo



Fonte: Dados da pesquisa

5. Considerações finais

O objetivo deste estudo foi aplicar em uma granja localizada no Centro-Oeste brasileiro, um modelo de otimização em redes para determinar o caminho mais curto entre dois nós, o de origem e o de destino. Tais nós foram apresentados em uma rede conectada e orientada. Conforme o resultado obtido, observou-se que a distância entre a granja e o seu cliente mais distante foi de 1.052,7 quilômetros. Portanto, o objetivo almejado foi alcançado.

O presente artigo evidencia, no âmbito empresarial, como o problema do caminho mais curto pode auxiliar no processo decisório logístico de uma empresa, quanto a definição de rotas de menor distância. Isto traz como benefício para as empresas a redução da distância total dos trajetos percorridos, e conseqüentemente, a possibilidade de diminuição dos custos e do tempo de entrega, possibilitando maior satisfação dos clientes. Já no contexto acadêmico, o

presente trabalho contribui como base teórico-prática sobre a aplicação do referido problema de otimização em redes a uma empresa de pequeno porte.

Como sugestão para pesquisas futuras, tem-se a aplicação de outros tipos de problemas, por exemplo, o problema do caixeiro viajante, a fim de minimizar a distância total da viagem, permitindo a entrega de produtos em vários pontos e o retorno ao ponto de partida.

REFERÊNCIAS

- ALVAIA, Tayane Magalhaes et al. Desenvolvimento do menor caminho para a melhoria das linhas de ônibus em um bairro no município de Aracaju-SE. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção- ENEGEP, 37., 2017, Joinville. **Anais eletrônicos...** Joinville: ABEPRO, 2017. p. 1 - 15. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_243_407_33064.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Relatório Anual 2016**. 16. ed. [S.l.]: ABPA, 2016. 136 p. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2018.
- BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. Tradução Hugo Yoshizaki. Brasil: Atlas, 1993.
- BRONSON, Richard. **Pesquisa Operacional**. Tradução Pinto Bravo. Revisão técnica Marco Aurélio P. Dias. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- COELHO, Débora Alves et al. Otimização em redes utilizando o algoritmo do caminho mínimo para roteirização em um centro de distribuição. In: Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, 23., 2016, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: UNESP – CB, 2016. p. 1 - 13. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/abrir_arquivo_pdf.php?tipo=artigo&evento=11&art=762&cad=25018&opcao=com_id>. Acesso em: 13 fev. 2018.
- CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- DINIZ, Iago Mesquita Naves et al. Aplicação do problema do caminho mais curto em uma empresa do setor alimentício. In: Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, 24., 2017, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: UNESP – CB, 2017. p. 1 - 13. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/abrir_arquivo_pdf.php?tipo=artigo&evento=12&art=440&cad=182&opcao=com_id>. Acesso em: 09 jan. 2017.
- FANTINATO, Marcelo. **Métodos de Pesquisa**. [S.l.: s.n.], 2015. 50 slides, P&B. Disponível em: <<http://each.uspnet.usp.br/sarajane/wp-content/uploads/2015/09/Métodos-de-Pesquisa.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2017.
- GESSULLI AGRIBUSINESS. **Boas Práticas de Produção nas granjas de ovos comerciais**. 2017. Disponível em: <<https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/boas-praticas-de-producao-nas-granjas-de-ovos-comerciais/20161219-192423-o168>>. Acesso em: 23 dez. 2017.

GOLDBARG, Cesar Marco; LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização combinatória e programação linear: Modelos e algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 6ª Reimpressão.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. Tradução Ariovaldo Griesi. Revisão técnica Pierre J. Ehrlich. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões: modelagem em Excel**. Rio de Janeiro: Elsevier: 2009.

LIMA, R. S.; LIMA, J. P.; PONS, N. A. D. Precisão aceitável? A utilização do Google Earth para obtenção de mapas viários urbanos para SIG. **Infogeo**, v. 11, p. 34-36, 2009.

PASSOS, Eduardo José Pedreira Franco dos. **Programação linear como instrumento da pesquisa operacional**. São Paulo: Atlas, 2008.

SANTOS, Antônio Raimundo dos. **Metodologia científica: a construção do conhecimento**. 6. ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2004.

VASCONCELOS, Sarah Aragão et al. Aplicação do problema do caminho mais curto para otimização de rota de um frigorífico. In: Simpósio de Engenharia de Produção - SIENPRO, 1., 2017, Catalão. **Anais eletrônicos...** Catalão: UFG – RC, 2017. p. 1 - 10. Disponível em:
<http://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/Sarah_Aragão_Vasconcelos.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2018.