

## Problema do Caminho Mínimo aplicado ao Transporte de Proteína Animal no Município de Toledo, Paraná

### Shortest Path Problem for Transportation of Animal Protein in the City of Toledo, Paraná

#### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar a melhor rota para produtores de proteína animal na cidade de Toledo, Paraná, a fim de obter o menor custo de transporte. A necessidade surgiu devido ao aumento da procura de carne suína e de frango pelo refrigerador. As rotas atuais não atendem mais a esse aumento, elevando os custos de logística de transporte. O problema foi modelado matematicamente como um Grafo e a metodologia para sua solução empregou o algoritmo do Caminho Mínimo. Os resultados foram obtidos no Solver® Excel. Depois de analisar as rotas de transporte atuais, foi possível aplicar o método e obter a otimização da rede. Foi possível averiguar através do mesmo algoritmo como o custo unitário de transporte relacionado à solicitação de demanda da indústria, influenciando no fornecimento de insumos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Grafos. Problema do Menor Caminho. Otimização em redes.

#### ABSTRACT

The purpose of this paper was to determine the best route for animal protein producers in the city of Toledo, Paraná, in order to achieve the lowest transport cost. The need arose due to the increased demand for pork and chicken by a fridge. The current routes no longer meet this increase by raising transportation logistics costs. The problem was mathematically modeled as a Graph and the methodology for its solution employed the Shortest Path algorithm. The results were obtained using Solver® Excel. After analyzing the current transport routes, it was possible to apply the method and obtain network optimization. It was possible to ascertain through the same algorithm as the unit cost of transport related to the demand request by the industry, influencing the supply of inputs.

**KEYWORDS:** Graph. Shortest Path Problem. Network Optimization.

**Leomar Caetano de Oliveira**  
[leomar.caetanooliveira@gmail.com](mailto:leomar.caetanooliveira@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Marcos Roberto Bombacini**  
[bombacini@utfpr.edu.br](mailto:bombacini@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Sandra Regina da Silva Pinela**  
[sandrapinela@utfpr.edu.br](mailto:sandrapinela@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Emilly Zucunelli Krepkij**  
[ekrepkij@alunos.utfpr.edu.br](mailto:ekrepkij@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

O problema de roteirização de veículos de cargas apresenta uma restrição quanto à janela de tempo de viagem, sendo esta, diretamente relacionada às características do produto, condições de produção e armazenamento. Este tipo de operação, se mal administrada, implica em enormes prejuízos, advindos da anulação parcial ou completa das cargas transportadas fora do prazo. O problema em particular não apresenta soluções simples e imediatas que possam ser implementadas com as ferramentas tradicionais.

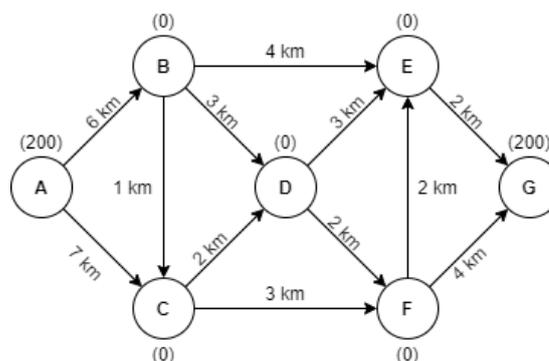
Para desenvolver um modelo de otimização para o fluxo de cargas dos produtores de Toledo, que enviam sua produção para as agroindústrias locais, esta pesquisa foi organizada, cujo objetivo geral consiste em encontrar uma solução ótima indicando as rotas que tenham maior fluidez do movimento geral de veículos de cargas dos produtos agropecuários.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de análise é definido pelo o volume de cargas da pecuária, referentes às granjas de produção de rebanhos suínos e/ou galináceos, localizadas no município de Toledo, cujas cargas sejam enviadas às plantas de processamento instaladas dentro do perímetro urbano.

O problema de minimização do custo total do transporte pode adquirir o formato de uma rede como um grafo orientado como na Figura 1.

Figura 1 – Rede de Vias para Transporte de Cargas do Ponto A ao G.



Fonte: Autoria própria (2020)

Um exemplo de modelagem matemática para o grafo é aquele utilizado em um Problema de Programação Linear, onde os números representam a quantidade transportada entre as localidades e as respectivas distâncias entre os nós. Admitese que o fluxo só é possível no sentido especificado pela seta. A questão a ser analisada envolve a melhor rota entre A e G na rede.

A solução do problema ilustrado na Figura 1 está representada na modelagem matemática descrita a seguir:

(a) Definição das variáveis:

$X_{ij}$  = quantidade de fluxo a ser enviada do nó  $i$  ao nó  $j$ ,  $j \neq i$ .

b) Função objetivo:

$$\text{Min } f(x) = 6X_{AB} + 7X_{AC} + 1X_{BC} + 3X_{BD} + 4X_{BE} + 3X_{CF} + 2X_{CD} + 3X_{DE} + 2X_{DF} + 2X_{FE} + 2X_{EG} + 4X_{FG} \quad (1)$$

(c) Restrições:

c.1) Equilíbrio de carga em cada localidade da rede:

$$X_{AB} + X_{AC} = 200 \text{ (Nó A)} \quad (2)$$

$$X_{AB} - X_{BE} - X_{BD} - X_{BC} = 0 \text{ (Nó B)} \quad (3)$$

$$X_{AC} + X_{BC} - X_{CD} - X_{CF} = 0 \text{ (Nó C)} \quad (4)$$

$$X_{BD} + X_{CD} - X_{DE} - X_{DF} = 0 \text{ (Nó D)} \quad (5)$$

$$X_{BE} + X_{DE} + X_{FE} - X_{EG} = 0 \text{ (Nó E)} \quad (6)$$

$$X_{DF} + X_{CF} - X_{FE} - X_{FG} = 0 \text{ (Nó F)} \quad (7)$$

$$X_{EG} + X_{FG} = 200 \text{ (Nó G)} \quad (8)$$

$$\text{Com } X_{AB}, X_{AC}, X_{BC}, X_{BD}, X_{BE}, X_{CD}, X_{CF}, X_{DE}, X_{DF}, X_{EG}, X_{FE}, X_{FG} \geq 0 \quad (9)$$

Para definir o modelo matemático, realizou-se levantamento e exploração de dados/informações disponibilizados em artigos científicos, relatórios técnicos, plataformas e endereços da Internet. O volume de cargas da pecuária, que irão representar os nós *i* do modelo matemático, foram obtidos por meio de estimativa de produção, calculada a partir da área das granjas, localizadas pelo Google Maps e Google Earth.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse caso vamos considerar que a rede de transporte liga uma origem (Granja), onde a carga é embarcada, a um destino final (indústria), passando por nós intermediários (entroncamentos) que representam localidades onde a necessidade de carga transportada é zero. O objetivo é basicamente atender todas as demandas, minimizando o custo total do transporte.

Para o levantamento da capacidade das granjas, levou-se em conta a área total multiplicada pela quantidade de animais em regime normal (quantos animais podem ser criados por m<sup>2</sup>). Como esse fator de escala não foi encontrado na literatura até a presente entrega, foram utilizados fatores fictícios conforme a Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Quantidade estimada de animais por m<sup>2</sup>

Granjas	Quantidade por m <sup>2</sup>
Suínos	1
Galináceos	15

Fonte: Autoria própria (2020)

A partir dos dados coletados por meio do Google Maps, foram listados os locais de origem de produção animal (granja de suínos e/ou galináceos), levantadas suas respectivas áreas aproximadas pelo Google Earth e posteriormente convertidas pelo fator escala dados nos quadros anteriores para suas supostas capacidades, como mostra a Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2 – Capacidade estimada granja de galináceos

Granjas	Área total (m2)	Capacidade Estimada
G1	5940	5940
G2	2740	2740

Fonte: Aatoria própria (2020)

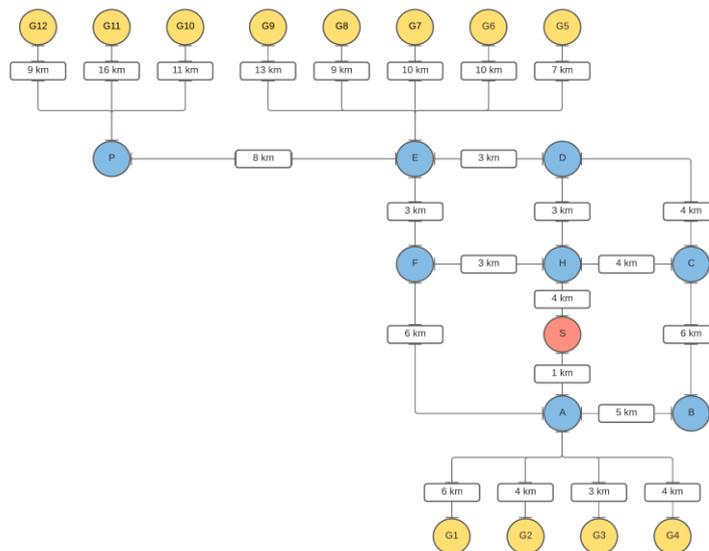
Tabela 3 – Capacidade estimada granja de suínos

Granjas	Área total (m2)	Capacidade Estimada
G3	2547	2547
G4	8740	8740
G5	5690	5690
G6	3875	3875
G7	5000	5000
G8	1500	1500
G9	2762	2762
G10	5860	5860
G11	5940	5940
G12	2740	2740

Fonte: Aatoria própria (2020)

A partir das informações coletadas e do objetivo desse estudo, elaborou-se uma rede de trajetos, representado por retas, e suas respectivas distâncias em quilômetros entre os nós (granjas, entroncamentos e indústria), representados por círculos. No total são 12 granjas (amarelo), 8 entroncamentos (azul) e 1 indústria (vermelho), totalizando 21 nós, que foram nomeados conforme mostra a Figura 1.

Figura 2 – Rede de transporte com dados do problema



Fonte: Autoria própria (2020)

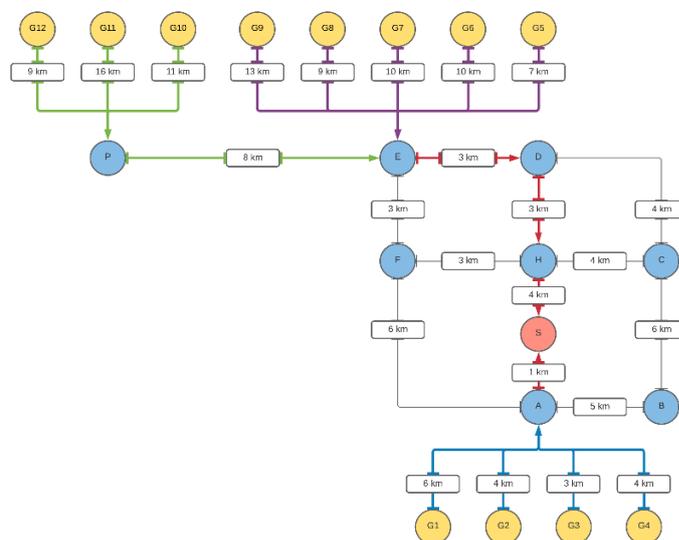
Assim modelou-se matematicamente o fluxo mínimo para cada granja separadamente, totalizando 12 modelagens. Após isso, coletou-se os dados e inteiro-lhes em uma planilha do Excel, para se achar a melhor rota com a utilização da ferramenta solver® por meio de programação linear.

Utilizando o Solver®, no campo “Função Objetivo” selecionou-se a respectiva célula, sendo definido minimizar o valor da mesma, ou seja, encontrar a menor distância entre a granja e a indústria. No campo “Resultados” selecionou-se um determinado intervalo de células, pelo qual têm a função de apresentar os resultados.

Dessa forma, a rota selecionada será obtida. Em relação às restrições que o problema foi submetido, definiu-se que a oferta é igual demanda. Definiu-se também que as variáveis devem assumir valores não-negativos e irrestritos e como método de resolução, o LP Simplex. Então, clicou-se em “Resolver”, onde foram geradas as soluções.

Como esse modelo inicial é mais simples e com redes menos complexas, as granjas G1, G2, G3 e G4 tem entrada inicial no mesmo nó A, assim como as granjas G5, G6, G7, G8 e G9 tem no nó E e por fim as Granjas G10, G11 E G12 tem no nó P, conforme a Figura 2.

Figura 3 – Rede de transporte otimizada pelo Solver®



Fonte: Autoria própria (2020)

Pode-se observar também na figura acima que as granjas com trajeto inicial em verde e roxo possuem o mesmo trajeto, pois se juntam no nó E.

Seguidamente com base nessa otimização de rotas, elaborou-se outra simulação com o mesmo princípio de programação no Solver®, conhecida como “Custo Mínimo”, em que leva em conta o custo unitário do transporte, a oferta e a demanda. Nesse caso, utilizou-se a própria distância como custo unitário e a capacidade estimada total das granjas de suínos e galináceos. Já para a demanda

exigida pela indústria, como não se encontrou esses dados, inferiu-se valores fictícios para simulação conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Oferta e Demanda estimada granja de suínos e galináceos

Granjas	Oferta (uni)	Demanda (uni)
Suínos	44654	30000
Galináceos	129105	80000

Fonte: Autoria própria (2020)

Tabela 5 – Quantidade a ser enviada conforme minimização da granja de suínos

De	Para	Distância (km)	Quantidade a ser enviada (uni)
G3	S	4	2547
G4	S	5	8740
G5	S	17	5690
G6	S	20	3875
G7	S	20	5000
G8	S	19	1500
G9	S	23	2648
G10	S	29	0
G11	S	34	0
G12	S	27	0

Fonte: Autoria própria (2020)

Tabela 6 – Quantidade a ser enviada conforme minimização da granja de galináceos

De	Para	Distância (km)	Quantidade a ser enviada
G1	S	7	12500
G2	S	5	67500

Fonte: Autoria própria (2020)

Todos os trajetos e suas respectivas distâncias juntamente com as áreas das granjas foram coletados através da ferramenta online Google Maps e Google Earth, portanto seriam necessários mais estudos e necessidade de dados mais fiéis a realidade agroindustrial de Toledo, para assim validar os resultados.

## CONCLUSÃO

O objetivo inicial deste estudo de utilização dos métodos de modelagem matemática e programação linear para otimizar redes rodoviárias, foi cumprido, tendo em vista a gama de análises que foram realizadas e os resultados obtidos. Já para a área acadêmica, propiciou a oportunidade de pôr em prática um conteúdo a qual não faz parte das ementas da Engenharia Eletrônica, a qual agregou muito conhecimento em logística e tomada de decisões.

Para obter tais resultados, foi modelado uma rede contendo os possíveis trajetos das granjas do município de Toledo até uma indústria alimentícia, para assim encontrar a melhor rota de distribuição de carga de proteína animal por

meio de programação linear e técnicas de Pesquisa Operacional, se utilizando do Software Solver<sup>®</sup>. Após ter esses trajetos serem otimizados, pode-se também averiguar através do mesmo software que o custo unitário do transporte relacionado com a demanda solicitada pela indústria, influência a oferta de insumos.

Constatou-se, também, que o Solver<sup>®</sup> é uma ferramenta bem simples e acessível para se resolver por meio da programação linear as até então modelagens complexas feitas à mão. Por fim, conclui-se que a Pesquisa Operacional aliada a logística é essencial para otimização dos trajetos realizados pelas empresas que ofertam determinado produto quanto para as que tem demanda do mesmo, permitindo encontrar assim um ponto de equilíbrio em questão de custos unitários para ambos. Para trabalhos futuros sugere-se a aplicação desta técnica e outras em estudo na empresa estudada juntamente com dados concretos e baseados na realidade da indústria de Toledo, para assim validar as resoluções.

## REFERÊNCIAS

BEN, M.; SCHLOSSER, M. T. S. (2012). A TERRITORIALIZAÇÃO DO COOPERATIVISMO EMPRESARIAL NO OESTE PARANAENSE. Revista Pegada, v. 13, n. 2, dezembro.

BOWERSOX, D.J., CLOSS, D.J. STANK, T.P.. 21ST CENTURY LOGISTICS: Making Supply Chain Integration a Reality. Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.

CNT. Confederação Nacional dos Transportes. PLANO CNT DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA 2014. Brasília.

DERAL. Departamento de Economia Rural (2015). VALOR BRUTO DA PRODUÇÃO RURAL PARANAENSE 2015. Disponível em: <[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/VBP\\_2015\\_AnaliseCompletaVD.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/VBP_2015_AnaliseCompletaVD.pdf)>. Acesso em: 05 de maio de 2019.

FLEURY, P. LOGÍSTICA NO BRASIL: situação atual e transição para uma economia verde. Coleção de estudos sobre diretrizes para uma economia verde no Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. Disponível em <<http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-7.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

GIL, A. C. COMO ELABORAR PROJETOS DE PESQUISA. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE. INDICADORES DE VOLUME E VALORES CORRENTES. 2017. Disponível em <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 07 abr. 2019.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. CADERNO ESTATÍSTICO DO MUNICÍPIO DE TOLEDO. Abr, 2019. Disponível em: <[www.ipardes.gov.br](http://www.ipardes.gov.br)>. Acesso em: 15 abr 2019.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. DIAGNÓSTICO E DESAFIOS DA AGRICULTURA BRASILEIRA. Org. José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho e Adriana Carvalho Pinto Vieira ... [et al.]. Rio de Janeiro: IPEA, 2019. 340 p.

NORTH, D. Teoria da localização e crescimento econômico regional In: J. SCHWARTZMANN (org.) ECONOMIA REGIONAL E URBANA: textos escolhidos. Belo Horizonte: UFMG, p. 333-343.

PIACENTI, C. A.; FERRERA DE LIMA, J.; PIFFER, M. O PRATA E AS CONTROVÉRSIAS DA INTEGRAÇÃO SUL-AMERICANA. Cascavel: Edunioeste. 143p.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, Ernani C. METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

ANDRADE, E. L. Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análises de decisões. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LACHTERMACHER, G. Pesquisa Operacional na tomada de decisões 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.