

Otimização de rotas aéreas pelo PCV

Guilherme Bispo de Lima¹
Luan de Freitas Silva²
Samuel Fernandes Vargas³
Luis Fernando Quintino⁴
Rafael Rodrigues de Oliveira⁵
Wesley Barbosa de Oliveira⁶

Resumo

Em meio a atual crise que se estabelece no Brasil, as companhias aéreas necessitam de maior flexibilização, a fim de atrair público e conquistar mercado, uma definição de rotas mais apropriada é imprescindível. Este artigo tem como objetivo otimizar rotas aéreas de ponto a ponto (aeroportos), para um melhor aproveitamento da malha aérea das companhias, fazendo com que a cada ponto novo (desembarque) no qual passageiros deixem a aeronave e gerem assentos vagos a serem preenchidos, seja possível a criação de um novo ponto (embarque) com mais passageiros, concebendo assim uma maior lucratividade pela empresa e conseqüentemente um serviço mais prático e barato para os usuários. Para isso, foram demonstradas rotas através do PCV (problema do caixeiro viajante), tendo como base o problema do caixeiro viajante, com o intuito de uma melhor compreensão e exemplificação da ideia.

Palavras-chave: Transporte aéreo; Rotas aéreas; Otimização; Problema do Caixeiro Viajante.

Abstract

In the midst of the current crisis in Brazil, the airlines need greater flexibility, in order to attract the public and conquer the market, a more appropriate route definition is essential. This article aims to optimize air routes from point-to-point (airports) for better utilization of the airlines' network, causing each new point (landing) in which passengers leave the aircraft and they generate vacant seats to be filled, be possible to create a new point (boarding) with more passengers, thus conceiving a greater profitability by the company and consequently a more practical and cheap service for the users. For this, routes has been demonstrated

¹ Graduando em Engenharia da Produção da Faculdade Carlos Drummond de Andrade, guilima222@hotmail.com

² Graduando em Engenharia da Produção da Faculdade Carlos Drummond de Andrade, luan_freitas7@hotmail.com

³ Graduando em Engenharia da Produção da Faculdade Carlos Drummond de Andrade, samuel.vargas@drummond.com.br

⁴ Professor do departamento de engenharia da Faculdade Carlos Drummond de Andrade, luis.quintino@outlook.com

⁵ Professor do departamento de engenharia da Faculdade Carlos Drummond de Andrade, profrafaeloliveira@gmail.com

⁶ Professor do departamento de engenharia da Faculdade Carlos Drummond de Andrade, wesley_oliveira@hotmail.com

through the Solver tool, based on traveling salesman problem, with the aim of a better understanding and exemplification of the idea.

Keywords: Air transport; Air routes; Optimization; Traveling salesman problem.

Introdução

Mediante uma crise financeira que se instaura e se propaga no Brasil, todos os segmentos econômicos devem buscar uma forma de diminuir os impactos e a vigente instabilidade que vive o país. Não fugindo a essas regras de mercado, encontram-se as empresas aéreas, afinal se trata de uma indústria com baixas margens operacionais, onde cada decisão implica no seu sucesso ou fracasso (BERGIANTE et al. 2011).

Historicamente as companhias aéreas sempre obtiveram crescimento no número de passageiros transportados, as exceções são em tempos de crises econômicas (ECONOMIST, 2007).

Para Peter Cerdá, vice-presidente regional para as Américas da IATA (International Air Transport Association), é justamente em período de crise que deve-se ter mais flexibilidade, porque o que as empresas aéreas anseiam é manter o tráfego e estimulá-lo ao máximo. Porém no Brasil estima-se que apenas 50% da população utilize a malha aérea em voos domésticos, havendo assim uma grande margem para crescimento (ANAC, 2016).

Segundo ZIMMERMANN e OLIVEIRA (2012) as empresas de transporte aéreo vem aumentando a utilização das suas frotas, com a intenção de ganhar produtividade, para atender a procura crescente. O mercado competitivo impulsionou as empresas a terem uma visão de negócios, em contra caminho ao que vinha se praticando, sendo antes essa visão apenas operacional. A partir dessa mudança de postura, passaram a definir as rotas com base na demanda

por voos, e só depois se verifica o impacto operacional dessa decisão, de forma a definir a malha efetiva da empresa (CORREIA et al. 2011).

Atualmente, segundo a ANAC, o mercado aéreo brasileiro conta com uma frota de 650 aeronaves. Sendo as principais, 159 pertencentes a LATAM, 123 da Azul, 122 da Gol, e 44 da Avianca.

As melhorias sistêmicas para gerar mais tráfego, a partir dos mesmos recursos são um fator constante. Com isso as empresas aéreas buscam otimizar sua rede de rotas (ou malha de rotas), tornando mais eficaz o número de voos a serem oferecidos por cada ponto (GOMES e FONSECA, 2014).

Segundo GOMES e FONSECA, (2014), as companhias aéreas tem buscado rotas que permitam um menor custo por assento-quilômetro ou CASK (cost per available seat-kilometer) além de um maior retorno econômico. Dessa forma, a definição da rede de rotas que a empresa pretende executar é peça fundamental no planejamento operacional e nos planos de expansão futura (BERGIANTE et al. 2011).

Pelo fato das dimensões continentais a qual usufrui o Brasil, e a desigual acessibilidade pela qual se caracterizam os mais de 5.500 municípios deste país, a política pública deveria entender a instituição de mecanismos de viabilização das rotas de baixa densidade (MCKINSEY&COMPANY, 2010).

Capazes de atender melhor a demanda nacional aparecem as companhias aéreas de baixo custo (em inglês, low cost Airlines). Elas têm sido um modelo de negócio com sucesso no desenvolvimento de novos fluxos de tráfego (ABRANTES, 2013).

Existem 3 fatores preponderantes nesse segmento de companhias aéreas que poderiam ser utilizados a fim de maior absorção do mercado nacional, sendo eles: Produto simples (sem refeições, uma só classe), posicionamento: (rotas diretas, com frequência elevada) e baixo custo de operação (tempo reduzido entre a aterrissagem e a decolagem, aumentando a receita por tempo de voo (ALMEIDA et al. 2008)).

Uma melhor utilização das rotas, portanto, faria com que os passageiros chegassem mais rápido ao seu destino, o que atrairia público, e por consequência aumentaria a demanda por assentos, fazendo com que a cada parada o avião pudesse ser reabastecido de passageiros de forma com que sempre haja o máximo de passageiros a bordo. Com base nesse contexto de mercado exposto, será indicado através deste artigo uma ferramenta para otimizar as rotas aéreas, a fim de um melhor aproveitamento da frota aeroviária, consumo de combustível e principalmente visando aumentar a demanda de passageiros.

Diante disso, utilizou-se o programa computacional Excel da Microsoft, e sua ferramenta solver que tem com finalidade para resolução de rotas, concebida através da ideia do problema do caixeiro viajante. Com a finalidade de conseguir achar a menor rota possível para que o custo das operações da viagem seja o menor possível trazendo um melhor custo benefício para a empresa e seus clientes.

Referencial Teórico

Malha aérea

Malha aérea é o conjunto de itinerários realizados pelas companhias aéreas em períodos regulares. Tendo como principal fator a demanda por voos regulares, a frequência com que os voos são realizados e a demanda de passageiros é que estabelecem a operação

Companhias aéreas de baixo custo

Uma companhia aérea de baixo custo (ou o termo em inglês low cost, algumas vezes até chamadas de no-frill) é uma companhia aérea de baixa tarifa, que diminui seus preços através da eliminação de custos de serviços oferecidos aos passageiros, elas tornam o serviço mais simples e sem diferenciação de classes para efetuarem essa diminuição.

Conseguindo assim atrair novos nichos de mercado mais interessados ao preço (ALMEIDA e COSTA, 2012).

Caixeiro viajante

O problema do caixeiro viajante (PCV) ou traveling Salesman problem (TSP) é um problema logístico e matemático onde procura identificar qual é a menor rota possível saindo de um ponto, indo para os outros sem repetir e voltando para o ponto inicial.

Segundo ZHAN (2016) o problema é um dos mais famosos de otimização combinatória. Ele pertence à classe de problemas de otimização NP-árduo, isto significa que nenhum algoritmo de tempo polinomial é conhecido por garantir a sua melhor solução global.

Tem sido muito utilizado no experimento de diversos métodos de otimização por ser, principalmente, um problema de fácil descrição e compreensão, mas de grande dificuldade de solução (KARP, 1975).

Ele vem sendo aplicado nas áreas de logística, genética, produção, telecomunicações e neurociência, para citar apenas alguns (APPLEGATE, 2007).

O PCV pode ser tanto simétrico, como assimétrico. Quando se tem distâncias iguais entre cidades opostas o PCV é simétrico, formando assim um grafo não orientado.

Já quando o problema é assimétrico, pode não existir caminhos em ambos os sentidos ou a distância pode ser diferente, formando um grafo orientado (ZHAN, 2016).

Excel Solver

O Solver pertence a um pacote de programas do Microsoft Excel, ou ferramentas de análise hipotética, porém ele não é exatamente uma ferramenta do Excel, e sim um suplemento (AddIn) que acompanha o Excel. Ele é comumente utilizado para otimização, e para análise de sensibilidade com mais de uma variável, já que o Atingir Meta (outra ferramenta do Excel) não poderá solucionar caso haja mais de uma variável, com limites e restrições.

Segundo JUNIOR e SOUZA (2004) “Com o Solver você pode localizar um valor ideal para uma fórmula em uma célula – chamada de célula de destino – em uma planilha. O Solver trabalha com um grupo de células relacionadas direta ou indiretamente com a fórmula na célula de destino. O Solver ajusta os valores nas células variáveis que você especificar – chamadas de células ajustáveis – para produzir o resultado especificado por você na fórmula da célula de destino. Você pode aplicar restrições para restringir os valores que o Solver poderá usar no modelo e as restrições podem se referir a outras células que afetem a fórmula da célula de destino”.

Desenvolvimento

Para o Desenvolvimento desse problema de otimização de rotas usamos o Excel e sua Ferramenta Solver (vide figura 1) para construir uma forma na qual o caixeiro viajante seja resolvido e a otimização de rotas e seus benefícios com.

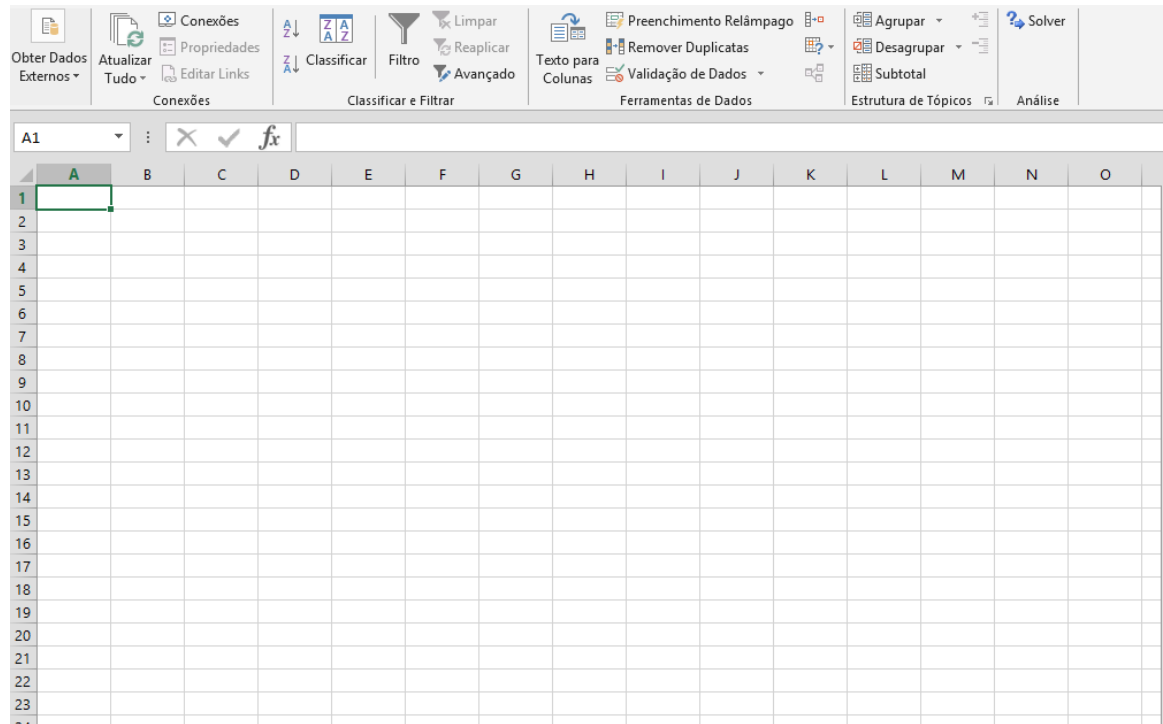


Tabela 1 – Excel e Ferramenta Solver

Fonte: elaborada pelo autor

Para conseguir a otimização das rotas foram criadas quatro matrizes dentro do Excel que nos ajudará a identificar a melhor rota. A primeira Matriz (vide figura 2) será onde encontraremos as distancias entre 7 aeroportos que estão localizados em São Paulo, Brasília, Bahia, Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul, Ceará e Amazonas.

	SP	BR	BA	RJ	MT	CE	AM
	1	2	3	4	5	6	7
SP	1	855	1273	344	1330	2349	2700
BR	2	855	526	929	878	1693	1951
BA	3	1273	526	1221	1264	1167	1939
RJ	4	344	929	1221	1581	2187	2865
MT	5	1330	878	1264	1581	2335	1469
CE	6	2349	1693	1167	2187	2335	2392
AM	7	2700	1951	1939	2865	1469	2392

Tabela 2 – Matriz 1

Fonte: elaborada pelo autor

A segunda Matriz (vide figura 3 e 4) foi aplicada a formula de soma tanto nas linhas como nas colunas e foi aplicado na ferramenta solver restrições no qual foi todas as rotas tanto verticais como horizontais fosse igual a um onde não pode ser possível passar duas vezes pela mesma rota, e restringimos que a células da matriz x tem que ser binário (0 ou 1) forçando o sistema a passar somente por somente uma rota.

	SP	BR	BA	RJ	MT	CE	AM	
x	1	2	3	4	5	6	7	Rotas
SP	1	0	0	0	0	0	0	=SOMA(M3:S3)
BR	2	0	0	0	0	0	0	0
BA	3	0	0	0	0	0	0	0
RJ	4	0	0	0	0	0	0	0
MT	5	0	0	0	0	0	0	0
CE	6	0	0	0	0	0	0	0
AM	7	0	0	0	0	0	0	0
Rotas	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 3 – Matriz 2 com a formula na linha

Fonte: elaborada pelo autor

	SP	BR	BA	RJ	MT	CE	AM	
x	1	2	3	4	5	6	7	Rotas
SP	1	0	0	0	0	0	0	0
BR	2	0	0	0	0	0	0	0
BA	3	0	0	0	0	0	0	0
RJ	4	0	0	0	0	0	0	0
MT	5	0	0	0	0	0	0	0
CE	6	0	0	0	0	0	0	0
AM	7	0	0	0	0	0	0	0
	=SOMA(M3:M9)	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 4 – Matriz 2 com a formula na coluna

Fonte: elaborada pelo autor

A terceira Matriz (vide figura 5) é nosso vértice y, onde mostrará qual o caminho que deve ser percorrido saindo de São Paulo e passando por todos os outros aeroportos e voltando para a São Paulo, nessa matriz foi aplicada a formula para somar a coluna e subtrair a linha.

Y	SP	BR	BA	RJ	MT	CE	AM	
SP	0	0	0	0	0	0	0	
BR	0	0	0	0	0	0	0	
BA	0	0	0	0	0	0	0	
RJ	0	0	0	0	0	0	0	
MT	0	0	0	0	0	0	0	
CE	0	0	0	0	0	0	0	
AM	0	0	0	0	0	0	0	
	=SOMA(M14:M20)-SOMA(M14:S14)							0

Tabela 5 – Matriz Y

Fonte: elaborada pelo autor

A quarta matriz (vide figura 6) tem como função verificar o valor máximo da primeira matriz, para isso foi aplicada a fórmula valor máximo de cada célula correspondente da matriz duas vezes a coluna.

Matriz - 2

		SP	BR	BA	RJ	MT	CE	AM	
	x	1	2	3	4	5	6	7	Rotas
SP	1	0	0	0	0	0	0	0	0
BR	2	0	0	0	0	0	0	0	0
BA	3	0	0	0	0	0	0	0	0
RJ	4	0	0	0	0	0	0	0	0
MT	5	0	0	0	0	0	0	0	0
CE	6	0	0	0	0	0	0	0	0
AM	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotas		0	0	0	0	0	0	0	

Matriz - 4

	SP	BR	BA	RJ	MT	CE	AM
SP	=D24*MÁXIMO(\$B\$24:\$B\$30)	0	0	0	0	0	0
BR	0	0	0	0	0	0	0
BA	0	0	0	0	0	0	0
RJ	0	0	0	0	0	0	0
MT	0	0	0	0	0	0	0
CE	0	0	0	0	0	0	0
AM	0	0	0	0	0	0	0

tabela 6 – Verificador de valor máximo

Fonte: elaborada pelo autor

Para conseguir o resultado colocamos uma fórmula (vide figura 7) para somar o produto da matriz 1 com a matriz 4

		Matriz - 1						
		SP	BR	BA	RJ	MT	CE	AM
		1	2	3	4	5	6	7
SP	1	0	0	0	0	0	0	0
BR	2	0	0	0	0	0	0	0
BA	3	0	0	0	0	0	0	0
RJ	4	0	0	0	0	0	0	0
MT	5	0	0	0	0	0	0	0
CE	6	0	0	0	0	0	0	0
AM	7	0	0	0	0	0	0	0

		Matriz - 4							
		SP	BR	BA	RJ	MT	CE	AM	
		1	2	3	4	5	6	7	Rotas
SP	1	0	0	0	0	0	0	0	0
BR	2	0	0	0	0	0	0	0	0
BA	3	0	0	0	0	0	0	0	0
RJ	4	0	0	0	0	0	0	0	0
MT	5	0	0	0	0	0	0	0	0
CE	6	0	0	0	0	0	0	0	0
AM	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotas		0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 7 – Formula aplicada a Matriz 1 e 4

Fonte: elaborada pelo autor

Para que possa ser feita toda a análise e a conclusão da menor rota possível usamos a ferramenta Solver dentro do Excel (vide figura 8) para restringirmos algumas células para que o problema do caixeiro viajante funcione perfeitamente. Foi informado em definir objetivo a célula de menor distancia, colocamos o valor mínimo e fizemos as restrições. A primeiras restrições foi que a coluna e a linha de rotas da matriz 2 seja igual ao valor 1 isso ocorre também para a matriz 3 onde a linha de rota seja igual a 1, também foi aplicada a restrição que a matriz 2 seja sempre valor binário (valor de 0 ou 1), na matriz 3 foi restringido que os valores das células sejam todos números inteiros e a última restrição é que a matriz 3 seja menor ou igual a matriz 4, e o método utilizada foi LP simplex.

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo:

Para: Máx. Mín. Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

\$M\$10:\$S\$10 = 1
 \$M\$14:\$S\$20 <= \$B\$14:\$H\$20
 \$M\$14:\$S\$20 = número inteiro
 \$M\$3:\$S\$9 = binário
 \$N\$21:\$S\$21 = 1
 \$T\$3:\$T\$9 = 1

Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de

Método de Solução

Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Ajuda Resolver Fechar

Figura 1 – Parâmetros do Solver

Fonte: elaborada pelo autor

Análise e Resultados

Com as distâncias encontradas entre os aeroportos dos 6 estados e 1 distrito o problema do caixeiro viajante foi solucionado da seguinte forma (vide figura 9), a saída foi feita a partir de São Paulo e seguindo para Mato Grosso do

Sul, depois Amazonas, depois Ceará, depois Baía, depois Brasília e depois tendo seu retorno para São Paulo.

y	SP	BR	BA	RJ	MT	CE	AM
SP	0	0	0	7	0	0	0
BR	0	0	5	0	0	0	0
BA	0	0	0	0	0	4	0
RJ	0	6	0	0	0	0	0
MT	1	0	0	0	0	0	0
CE	0	0	0	0	0	0	3
AM	0	0	0	0	2	0	0
Rotas	-6	1	1	1	1	1	1

Tabela 8 – Parâmetros do Solver

Fonte: elaborada pelo autor

A solução do Excel junto com a sua ferramenta solver encontrou a sua menor distância (vide figura 10), sendo ela de 8157 km.

Menor Distancia	8157
------------------------	-------------

Figura 2 – Resolução do caixeiro Viajantes

Fonte: elaborada pelo autor

Tendo isso podemos analisar (vide figura 11) que com o grande aumento de pessoas que usarão o transporte aéreo a otimização de rotas é de grande importância para que seja feita a economia de combustível e revertendo isso em ganho financeiro como também o aumento de passageiros com a otimização de rotas cada vez melhoradas.



Figura 3 – Melhor rota encontrada

Fonte: elaborada pelo autor

Se analisarmos que um Boeing 777 faz 0,12km/L em 8157 km ele teria gastado 978,84 litros somente de combustível, se aplicarmos que a média do combustível está em R\$ 4,60 ele gastará R\$ 4502,66 centavos para concluir toda a sua rota com o menor custo possível. Caso ele faça qualquer outra rota como por exemplo: São Paulo para o Rio de Janeiro, depois Brasília, Mato Grosso, Amazonas, Ceará, Bahia e voltando para São Paulo, o total em quilômetros seria de 8452km e tendo o consumo de combustível R\$ 4665,50, analisado que com o algoritmo do caixeiro viajante podemos ter rotas melhor aproveitadas trazendo um lucro para as companhias aéreas.

Conclusão

O PCV junto da ferramenta solver, utilizada para otimizar as rotas aéreas, é de fácil operação, permitindo uma ágil visualização das rotas e uma interferência nos resultados apresentados por ela conforme a necessidade e compreensão da realidade em estudo.

A otimização de rotas proposta aqui mostrou-se pertinente ao atender os objetivos previamente estabelecidos. Conforme o estudo, pela otimização de rotas, permite-se obter resultados satisfatórios em termos de; redução de custo, eficiência na utilização da frota aérea e maior demanda a ser atendida. Já que as companhias aéreas evitariam desperdício em suas frotas, mantendo seus aviões ao máximo no ar, economizando assim na alocação de espaços em aeroportos. Angariariam mais passageiros, pelo fato de, tornar os voos mais diretos, gerando mais receita. E por fim, manteriam seus aviões com o máximo possível de capacidade, pelo fluxo contínuo de passageiros, diminuindo com isso seus preços e atraindo ainda mais clientes.

O estudo também pode se tornar útil para um possível aumento da eficiência do setor a qual se insere as companhias aéreas, contribuindo para a tomada de decisão no posicionamento estratégico da empresa e seu nível de competitividade no mercado.

Referências

ABRANTES, J. M. Impacto das companhias aéreas de baixo custo no desenvolvimento dos hostels nas cidades de Lisboa e Porto. NEMO 2013. ISSN: 2177- 3300.

ALMEIDA, C. R; COSTA, C. A operação das companhias aéreas de baixo custo na Europa, o caso da Ryanair. RT&D 2012, n.º 17/18.

ALMEIDA, C. R; FERREIRA, A. M; COSTA, C. A importância da operação das companhias aéreas de baixo custo no desenvolvimento de segmentos de mercado turístico, o caso do turismo residencial no Algarve. APDR 2008. ISSN 1645-586X.

ANAC. Setor aéreo transportou 117,8 milhões de passageiros em 2015 (2016). Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/10/setor-aereo-transportou-117-8-milhoes-de-passageiros-em-2015>>. Acesso em: 24 de maio de 2017.

APPLEGATE, D. L; BIXBY, R. E; CHVATAL, V; COOK, W. J. The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Princeton University Press 2006, p.1-58.

BERGIANTE, N. C. R; MELLO J. C. C. B. S; NUNES M. V. R; PASCHOALINO F. F. Aplicação de uma proposta de medida de centralidade para avaliação de malha aérea de uma empresa do setor de transporte aéreo brasileiro. Relit, 2011. ISSN 2177-1065.

CORREIA, T. C. V. D; MELLO, J. C. C. B. S; MEZA, L. A. Eficiência técnica das companhias aéreas brasileiras: um estudo com análise envoltória de dados e conjuntos nebulosos. Produção, v. 21, n. 4, p. 676-683, out./dez. 2011.

GOMES, S. B. V; FONSECA, P. V. R. Configurações de redes de rotas de empresas aéreas – modelos básicos (2014). BNDES Setorial 42, p. 217-244.

JUNIOR, A. C. G; SOUZA M. J. F. Solver (Excel): Manual de referência (2004). Disponível em:
<http://www.decom.ufop.br/marcone/Disciplinas/OtimizacaoCombinatoria/solver_p.pdf> Acesso em: 26 de maio de 2017.

KARP, E. R. M. Complexity of Computation, SIAM-AMS Proceedings, Vol. 7, Providence, RI: American Mathematical Society, 1974.

MARKILLIE, P. Air travel. The Economist. 14 de Julho de 2007.

MCKINSEY & COMPANY. Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil: Relatório Consolidado. McKinsey & Company, 2010. ISBN 978-85-63579-00-3

ZHAN, S; LIN, J; ZHANG, Z; ZHONG, Y. List-Based Simulated Annealing Algorithm for Traveling Salesman Problem. Hindawi 2016. ID 1712630.

ZIMMERMANN, N; OLIVEIRA, A. V. M. Liberalização econômica e universalização do acesso no transporte aéreo: é possível conciliar livre mercado com metas sociais e ainda evitar gargalos de infraestrutura. JTL-Relit, 2012. ISSN 2238-1031.