

Proposta de otimização da ocupação dos vôos de uma companhia aérea e a contribuição da indústria de bebidas para redução dos custos com combustível

Francine Voltolini, Suiane Souza Montanari, Silvia Lopes De Sena Tagliarenha, Christiane Wenck Nogueira Fernandes

Resumo: Este artigo tem como objetivo a discussão a respeito dos gastos com combustível por quilômetro rodado do aeroporto de Curitiba, Afonso Pena, utilizando uma modelagem matemática e de problema de rede. Através do método Simplex de Programação Linear, foram feitas considerações em relação aos vôos domésticos para diferentes destinos, analisando a relação entre o custo com combustível e a demanda para cada cidade. Também é pontuada a importância da indústria de bebidas na redução com esses custos, através da produção de biocombustível a partir de seus resíduos.

Palavras chave: Pesquisa Operacional, Programação Linear, Método Simplex, indústria de bebidas.

Proposal to optimize airline occupancy and contribution of beverage industry to reduce fuel costs

Abstract: This article aims to discuss fuel costs per kilometer of Curitiba airport, Afonso Pena, using a mathematical modeling and network problem. Through the Linear Programming Simplex method, considerations were made regarding domestic flights to different destinations, analyzing the relationship between fuel cost and demand for each city. Also highlighted is the importance of the beverage industry in reducing these costs through the production of biofuel from its waste.

Key-words: Operational Research, Linear Programming, Simplex Method, beverage industry.

1. Introdução

O Brasil tem um dos custos mais altos com combustível no mundo. Segundo estudo da Associação Brasileira das Empresas Aéreas (Abear), o combustível no Brasil é 40% mais caro que a média mundial. De acordo com dados do levantamento, no ano de 2017, as companhias aéreas gastaram 9,37 bilhões de reais com a compra de querosene de aviação, o que representou 27,1% das despesas operacionais.

Uma das formas muito estudadas para diminuir esses gastos é o uso de biocombustível, que é produzido através de matéria orgânica e que pode substituir os combustíveis fósseis. Ele também contribui para um desenvolvimento sustentável na aviação, visto que diminui a emissão de CO₂, mas ainda não é muito utilizado no Brasil. Então, uma alternativa proposta para o estímulo ao uso do biocombustível é utilizar os resíduos das indústrias de bebidas na sua fabricação.

Outra proposta da abordagem deste estudo de caso, visa criar uma modelagem de

otimização a fim de analisar os dados dos vôos da empresa aérea Azul SA, relacionada aos custos com combustível, partindo do aeroporto de Curitiba, Afonso Pena. Deste modo o método Simplex é escolhido para a resolução do problema de rede e a partir destes resultados, pode-se avaliar quais vôos, de diferentes tipos de aeronaves na companhia, são lucrativos ou não.

2. Método simplex como modelo de otimização

A utilização da Pesquisa Operacional com foco em otimizar os recursos escassos, auxilia no processo de tomada de decisão, sendo definida de acordo com Hiller e Liberman (2006), como um estudo que envolve "pesquisa sobre operações". Dessa forma, é indicada para resolução de problemas que necessitam conduzir e coordenar as operações ou atividades em uma instituição. Além de problemas voltados ao ramo empresarial, a pesquisa operacional se aplica a aqueles simples e comuns na sociedade, tal como, escolher o menor caminho, ou com menor custo entre uma origem e um destino. Segundo Lachtermacher (2009, p. 16) "A área que estuda a otimização de recursos é denominada programação matemática.", onde o objetivo é maximizar ou minimizar os recursos a serem otimizados, sendo estes recursos, denominados de variáveis de decisão, e as relações entre essas variáveis são as restrições expressas como equações ou inequações matemáticas. Os Problemas de Programação Linear, trabalham com a função objetivo e as restrições lineares, e possuem a seguinte forma:

$$\text{Otimizar: } f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$\text{sujeito a: } g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

$$g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

$$\cdot \quad \geq \quad \cdot$$

$$\cdot \quad = \quad \cdot$$

$$\cdot \quad \leq \quad \cdot$$

$$g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad b_n \quad (4)$$

Um dos métodos para resolução destes problemas, denomina-se método Simplex, do qual pode ser utilizado de forma analítica, tabular, como uma rede, ou através de ferramentas computacionais. A solução analítica do método Simplex se baseia em sistemas de equações, onde as soluções são obtidas iterativamente. O primeiro passo é "converter as restrições funcionais de desigualdade em restrições de igualdade equivalentes" (HILLER, LIBERMAN, 2006) , através da inserção de variáveis de folga. Ao final, esse modelo é denominado de dicionário inicial. Por ser um procedimento iterativo, para problemas com muitas variáveis e restrições, implica em um número maior de variáveis de folga, o que gera dificuldade e imprecisão dos cálculos manuais. A alternativa que auxilia a resolução analítica, é a forma tabular. Onde, substitui-se os dicionários, por quadros, criados em planilhas eletrônicas, compostos apenas por informações essenciais: os coeficientes das variáveis, as constantes das restrições e as variáveis básicas e não-básicas. (LACHTERMACHER, 2009). A resolução tabular, exige a manipulação de linhas e colunas, realizando cálculos semelhantes aos necessários para solução de sistemas de equações.

Entretanto, a aplicação da Programação Linear em problemas reais, trabalha com inúmeras variáveis, inviabilizando a utilização dos métodos citados anteriormente. Para isso, emprega-se o uso de ferramentas computacionais, das quais, realizam todos os

cálculos, restando ao usuário apenas modelar o problema e analisar os resultados. (LACHTERMACHER, 2009). As ferramentas mais utilizadas são as planilhas eletrônicas (Excel), devido a sua facilidade de uso, além dos softwares específicos de otimização, como o Lingo da Lindo Systems e o NEOS Server-plataforma online.

A resolução de problemas no Lingo permite utilizar o problema na forma de modelagem matemática do Método Simplex. Onde, cada linha representa as partes do modelo, por exemplo, a primeira linha será a função objetivo, expressa no Lingo como: $\min(\max)=\text{somatório do produto dos custos pelas variáveis}$. Outra modelagem que pode ser implementada no Lingo, é denominada linguagem de AMPL- A Mathematical Programming Language ou Linguagem de Programação Matemática- que busca, segundo o revendedor oficial Cassotis, “descrever dados, variáveis, objetivos e restrições para otimização” por meio de modelos matemáticos que tornam a modelagem mais compreensível por diferentes usuários. As simbologias matemáticas, como o somatório (Σ) e para todo (\forall), por exemplo, são muito empregados nos modelos para definir função objetivo, restrições e limite das variáveis. Deste modo, visando otimizar o custo com combustível dos voos durante um dia de uma companhia aérea brasileira com relação a ocupação dos voos, empregou-se o Lingo utilizando a modelagem AMPL, com intuito de verificar o custo atual com combustível e prejuízos nos voos.

3. Estudo de caso: aplicação e resultados

Este estudo, busca analisar a minimização dos custos de combustível da empresa Azul SA, dos vôos que saem do aeroporto de Curitiba. O aeroporto é a origem de viagem de várias aeronaves da companhia, com destinos a 12 aeroportos diferentes. A partir de informações coletadas sobre as aeronaves e o combustível, pode-se fazer uma rede de vôos e assim, através dessa modelagem do problema, buscar otimizar o número de assentos ocupados e então perceber quais vôos não são vantajosos para a companhia.

Para a construção da modelagem matemática, considerou-se que para realizar cada voo seria necessário uma aeronave diferente, visto que a empresa possui aeronaves do mesmo modelo. Também assume-se o custo do combustível como o valor bruto gasto em função da distância, e não com o valor dos custos indiretos da operação de abastecimento.

3.1. Coleta e tratamento de dados

O ponto de partida, foi a consulta dos voos realizados em dias típicos. Essa coleta foi realizada para os voos que ocorreram numa quarta-feira, ao longo do dia, com origem no Aeroporto Afonso Pena para diferentes destinos. O objetivo foi conhecer quais são os destinos mais comuns, e quais aeronaves são utilizadas para tais operações. As informações foram obtidas de um site que fornece a situação dos voos em tempo real, e o modelo das aeronaves.

A partir da definição do problema, buscou-se informações sobre oferta e demanda dos vôos para cada destino. Os dados utilizados na formação do modelo matemático e cálculos, foram obtidos da Base de Dados Estatísticos do Transporte Aéreo disponibilizado ao público pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). A Base de Dados apresenta informações desde o ano 2000, com periodicidade mensal e para todas as companhias aéreas. A filtragem desses dados, abrangeu apenas o mês de abril (o mês mais recente que consta da Base de Dados e próximo da consulta dos voos) de 2019, para a companhia

aérea Azul SA, considerando apenas voos domésticos regulares. Os dados sofreram alterações, pois a Base de Dados da ANAC fornece as seguintes definições para algumas informações necessárias para a otimização:

- *RPK* (Revenue seat kilometer): Refere-se ao volume de Passageiros Quilômetros Transportados, ou seja, a soma do produto entre o número de passageiros pagos e a distâncias das etapas;
- Distância: Refere-se à distância, expressa em quilômetros, entre os aeródromos de origem e destino da etapa, considerando a curvatura do planeta Terra;

Para determinar a demanda correspondente a oferta, foi necessário realizar a divisão dos valores de RPK pela Distância, disponibilizada na Base de Dados, apresentada na equação (5):

$$Demanda = \frac{RPK_i}{D_i} \quad (5)$$

Em que:

D_i = Distância da origem até o destino i

RPK_i = Valor do RPK em cada destino i

A determinação da Demanda Total por dia, consistiu no produto da Demanda pelo número de voos para o destino i . Demais dados necessários, como oferta, velocidade de cruzeiro e consumo específico de combustível das aeronaves, foram obtidos das especificações técnicas disponíveis dos manuais das aeronaves. A determinação do consumo de combustível das aeronaves utilizou as equações para cálculo de autonomia de voo estabelecidas pela RBAC 135.209 (ANAC, 2014b) de acordo com os requisitos de voo propostos pela RBAC 91 (ANAC, 2015). Todas as equações utilizadas para o cálculo do consumo de combustível estão apresentadas na equação (6):

$$Consumo\ Combustível = \left(\left(\frac{D_i + Ct_j}{v} \right) \times \mu \right) \times 1,1^* \quad (6)$$

Em que:

D_i = Distância da origem até o destino i em km;

Ct_j = Distância percorrida durante 45 minutos de voo pela aeronave j ;

μ = Consumo específico da aeronave;

v = Velocidade de Cruzeiro

* Contingência operacional. Calcula-se mais 10% sobre o consumo de combustível;

Todos os dados coletados e tratados foram manipulados através de planilha eletrônica, como ilustrado na Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5.

Destino	Demanda (RPK/DIST)	Nº VOOS	DEMANDA TOTAL	Distância
CGH	96.76	4	387.03	34093
VCP	97.70	7	683.90	90480
BH	93.76	1	93.76	24534
GRU	109.49	5	547.46	45952
IGU	91.24	4	364.95	44688
POA	106.29	5	531.44	79417
LDB	77.50	3	232.49	32342
MGF	56.77	3	170.30	36234
SDU	93.78	3	281.35	53325
CAC	56.25	2	112.50	33288
TOLEDO	52.50	1	52.50	10208
CGR	88.75	1	88.75	22260
TOTAL		39		

Fonte: ANAC (2019).

Tabela 1 – Demanda em RPK para cada destino por número de vôos

As distâncias são apresentadas na Tabela 2, foram calculadas considerando a distância durante 45 minutos de voo mais a distância coletada da Base de Dados da ANAC, entretanto, somente algumas as distâncias correspondentes aos voos que ocorreram com a respectiva aeronave são computados na otimização.

Destino	Distância total				
	E195	E195 E2	E190	ATR 72	A320
CGH	34714.75	34714	34714.75	34468	34714
VCP	91101	90855	90480	91101	91101.75
BH	24909	25155	24534	25155.75	24534
GRU	46573	46573.75	45952	45952	45952
IGU	45309.75	44688	44688	44688	44688
POA	79417	79417	79417	79417	79417
LDB	32342	32342	32342	32342	32342
MGF	36234	36234	36234	36234	36234
SDU	53325	53325	53325	53325	53325
CAC	33288	33288	33288	33288	33288
TOLEDO	10208	10208	10208	10208	10208
CGR	22260	22260	22260	22260	22260

Fonte: Adaptado de ANAC (2019).

Tabela 2 – Distância percorrida por cada aeronave para diferentes destinos

O consumo de combustível foi calculado de acordo com a equação (6) para cada aeronave em todos os destinos, embora, somente os valores dos voos que aconteceram são utilizados na otimização. Os valores obtidos encontram-se na Tabela 3:

Destino	Consumo E195	Consumo E195 E2	Consumo E190	Consumo ATR 72	Consumo A320	Menores consumos	Aeronave
CGH	55275.60	54566.38	55275.60	128910.32	124517.61	54566.38	E195 E2
VCP	145058.29	142813.53	144069.48	340717.74	326778.02	142813.53	E195 E2
BH	39662.10	39540.74	39064.99	94082.505	88002.39	39064.99	E190
GRU	74157.25	73208.54	73168.44	171860.48	164827.83	73168.44	E190
IGU	72145.80	70244.35	71155.80	167133.12	160293.91	70244.35	E195 E2
POA	126454.09	124834.32	126454.09	297019.58	284865.33	124834.32	E195 E2
LDB	51497.52	50837.87	51497.52	120959.08	116009.35	50837.87	E195 E2
MGF	57694.67	56955.65	57694.67	135515.16	129969.78	56955.65	E195 E2
SDU	84908.32	83820.72	84908.32	199435.5	191274.46	83820.72	E195 E2
CAC	53003.81	52324.88	53003.81	124497.12	119402.61	52324.88	E195 E2
TOLEDO	16253.99	16045.79	16253.99	38177.92	36615.65	16045.79	E195 E2
CGR	35444.15	34990.14	35444.15	83252.4	79845.65	34990.14	E195 E2

Fonte: Adaptado de ANAC (2019).

Tabela 3 – Consumo de combustível de cada aeronave para diferentes destinos

O preço do combustível utilizado para realizar os cálculos foi consultado de um site de estatísticas. A cotação considerada do combustível QAV1 (Querosene de aviação) foi de U\$ 1,80 por galão. Realizou-se a conversão das unidades, para reais e litros. Os custos obtidos estão na Tabela 4:

Destino	Custo E195	Custo E195 E2	Custo E190	Custo ATR72	Custo A320
CGH	R\$ 99,496.07	R\$ 98,219.49	R\$ 99,496.07	R\$ 232,038.58	R\$ 224,131.70
VCP	R\$ 261,104.92	R\$ 257,064.35	R\$ 259,325.07	R\$ 613,291.93	R\$ 588,200.43
BH	R\$ 71,391.78	R\$ 71,173.34	R\$ 70,316.99	R\$ 169,348.51	R\$ 158,404.30
GRU	R\$ 133,483.05	R\$ 131,775.36	R\$ 131,703.20	R\$ 309,348.86	R\$ 296,690.09
IGU	R\$ 129,862.44	R\$ 126,439.84	R\$ 128,080.44	R\$ 300,839.62	R\$ 288,529.04
POA	R\$ 227,617.36	R\$ 224,701.77	R\$ 227,617.36	R\$ 534,635.24	R\$ 512,757.59
LDB	R\$ 92,695.53	R\$ 91,508.17	R\$ 92,695.53	R\$ 217,726.34	R\$ 208,816.83
MGF	R\$ 103,850.40	R\$ 102,520.16	R\$ 103,850.40	R\$ 243,927.29	R\$ 233,945.61
SDU	R\$ 152,834.98	R\$ 150,877.29	R\$ 152,834.98	R\$ 358,983.90	R\$ 344,294.02
CAC	R\$ 95,406.86	R\$ 94,184.78	R\$ 95,406.86	R\$ 224,094.82	R\$ 214,924.70
TOLEDO	R\$ 29,257.19	R\$ 28,882.43	R\$ 29,257.19	R\$ 68,720.26	R\$ 65,908.17
CGR	R\$ 63,799.47	R\$ 62,982.25	R\$ 63,799.47	R\$ 149,854.32	R\$ 143,722.17

Fonte: Adaptado de ANAC (2019).

Tabela 4 – Custo de combustível das aeronaves para diferentes destinos

As capacidades de cada aeronave, tal como Velocidade de Cruzeiro, Consumo e Específico e Distância durante 45 minutos de voo (chamada de tempo de contingência), encontram-se na Tabela 5:

Aeronave	Oferta (capacidade) O_i	Velocidade de cruzeiro(km/h)	Consumo específico (litro/hora)	Distância em 45min
E195	118	829	1200	621.75
E195 E2	132	828	1183.2	621
ATR 72	74	500	1700	375
A320	298	828	2700	621
E190	106	829	1200	621.75

Fonte: Adaptado de ANAC (2019).

Tabela 5 – Características das aeronaves

3.2. Modelagem matemática

A modelagem matemática compreende a definição das variáveis de decisão, a construção da função objetivo e as restrições que se deve atender, utilizando expressões matemáticas.

3.2.1. Variáveis de decisão

Defina-se as variáveis de decisão

x_i = número de passageiros saindo de Curitiba para o destino i , $i = 1, \dots, 39$,

como detalhado na Tabela 6.

Aeronave	Destino	Variável	Aeronave	Destino	Variável	Aeronave	Destino	Variável
E195 E2	BH	x_1	E195 5	IGU	x_{14}	E190 2	POA	x_{27}
ATR 72 2	CAC	x_2	E195 15	IGU	x_{15}	E195 25	POA	x_{28}
ATR 72 4	CAC	x_3	ATR 72 6	IGU	x_{16}	E195 10	SDU	x_{29}
E195 1	CGH	x_4	ATR 72 8	IGU	x_{17}	E195 16	SDU	x_{30}
E195 8	CGH	x_5	E195 7	LDB	x_{18}	E195 22	SDU	x_{31}
E195 17	CGH	x_6	E195 13	LDB	x_{19}	E195 12	TOLEDO	x_{32}
E195 19	CGH	x_7	ATR 72 7	LDB	x_{20}	E195 2	VCP	x_{33}
E195 26	CGR	x_8	ATR 72 1	MGF	x_{21}	E195 4	VCP	x_{34}
E195 3	GRU	x_9	ATR 72 3	MGF	x_{22}	E195 14	VCP	x_{35}
E195 9	GRU	x_{10}	ATR 72 5	MGF	x_{23}	E195 18	VCP	x_{36}
A320 1	GRU	x_{11}	E195 6	POA	x_{24}	E195 20	VCP	x_{37}
E190 1	GRU	x_{12}	E195 11	POA	x_{25}	E195 21	VCP	x_{38}
E195 24	GRU	x_{13}	A320 2	POA	x_{26}	E195 23	VCP	x_{39}

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6 – Variáveis correspondentes aos voos

3.2.2. Função objetivo

O propósito é a minimização de custos com combustível utilizado nas aeronaves, portanto a função objetivo visa minimizar o custo. Os custos calculados na etapa de tratamento de dados foram utilizados como os coeficientes das variáveis, assim, a função objetivo é o somatório dos custos de cada variável. Logo, obteve-se:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{39} c_i * x_i, \quad \forall i | 1 \leq i \leq 39 \quad (7)$$

3.2.3 Restrições

As restrições consideradas foram: a capacidade da aeronave, denominada como uma restrição de oferta, e número de passageiros pagos, denominada como uma restrição de demanda. Como o somatório da oferta foi maior que o somatório da demanda, as restrições de oferta são inequações do tipo menor igual, e as restrições de demanda são do tipo maior igual.

3.2.3.1. Restrições de Oferta

Para construir a restrição de oferta, utilizou-se as capacidades de cada aeronave obtidas na etapa de coleta de dados, empregadas como constantes das inequações. Cada variável foi restringida pela capacidade correspondente da aeronave utilizada, totalizando 39 restrições de oferta. Por exemplo:

$$x_i \leq O_i \quad \forall i | 1 \leq i \leq 39 \quad (8)$$

3.2.3.2. Restrições de Demanda

As restrições de demanda foram estruturadas de acordo com a demanda obtida para cada destino. Assim, as restrições de demanda são o somatório de todos os voos realizados para cada destino, podendo ser iguais ou maiores as demandas obtidas pela coleta de dados. Por exemplo:

$$x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq 387,03 \quad (9)$$

O somatório dos voos para o Aeroporto de Congonhas deve ser igual ou superior a demanda de 387,03 passageiros por dia.

4. Resultados

Para solução do problema foi utilizado o software da Lindo Systems Lingo, pois o problema possui poucas variáveis e poucas restrições.

Utilizou-se um modelo minimização do custo total utilizado com combustível, considerando-se restrições de oferta e demanda apresentadas nas equações (10) a (22).

$$\text{Função Objetivo: } Z = \sum_{i=1}^{39} c_i * x_i \quad \forall i | 1 \leq i \leq 39 \quad (10)$$

Sujeito às restrições:

$$x_1 \geq 937586 \quad (11)$$

- $x_2 + x_3 \geq 1125000$ (12)
- $x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq 3870291$ (13)
- $x_8 \geq 887500$ (14)
- $x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} \geq 5474609$ (15)
- $x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} \geq 3649524$ (16)
- $x_{18} + x_{19} + x_{20} \geq 2324854$ (17)
- $x_{21} + x_{22} + x_{23} \geq 1703030$ (18)
- $x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} \geq 5314430$ (19)
- $x_{29} + x_{30} + x_{31} \geq 2813544$ (20)
- $x_{32} \geq 525000$ (21)
- $x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} \geq 6839000$ (22)

4.2. Lingo

A utilização do software Lingo, se baseia na modelagem matemática, logo a função objetivo e as restrições seguiram o formato AMPL.

```

Lingo 18.0 - [Lingo Model - voos2]
File Edit Solver Window Help

MODEL:
SETS:
    VOOS / 11..139/: x, CUSTO, OFERTA;
ENDSETS
DATA:
    CUSTO, OFERTA =@OLE('voosdados.xlsx','custoo','ofertaa');
ENDDATA

MIN= FO;

FO=@SUM(VOOS: CUSTO*x);

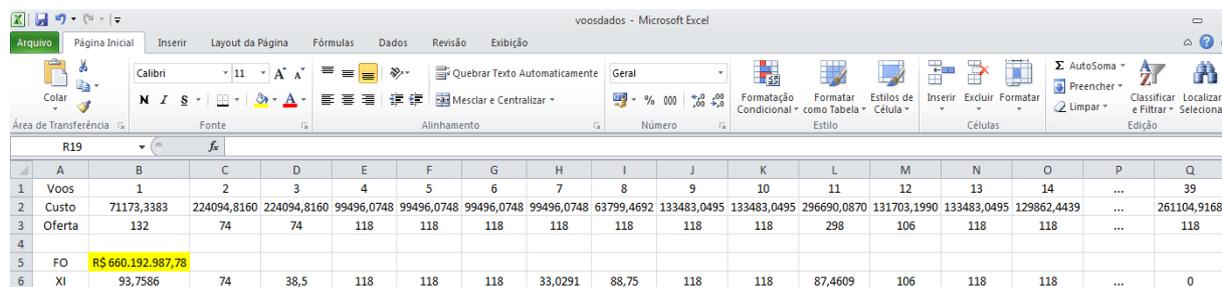
x(1)>=93.7586;
x(2)+x(3)>=112.5000;
x(4)+x(5)+x(6)+x(7)>=387.0291;
x(8)>=88.7500;
x(9)+x(10)+x(11)+x(12)+x(13)>=547.4609;
x(14)+x(15)+x(16)+x(17)>=364.9524;
x(18)+x(19)+x(20)>=232.4854;
x(21)+x(22)+x(23)>=170.3030;
x(24)+x(25)+x(26)+x(27)+x(28)>=531.4430;
x(29)+x(30)+x(31)>=281.3544;
x(32)>=52.5000;
x(33)+x(34)+x(35)+x(36)+x(37)+x(38)+x(39)>=683.9000;

@FOR(VOOS: x<=OFERTA);

DATA:
    @OLE('voosdados.xlsx','xis','fobj')=x,FO;
ENDDATA
END
    
```

Figura 6 – Dados e solução no Lingo

Algumas funções próprias do Lingo foram utilizadas, como, o @SUM() para realizar o somatório do produto dos custos pelas variáveis, e o @FOR() para iterar todas as variáveis com as respectivas ofertas (assentos disponíveis nos voos). Na Figura 7 apresenta-se os resultados obtidos:



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Voos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	39
2	Custo	71173,3383	224094,8160	224094,8160	99496,0748	99496,0748	99496,0748	99496,0748	63799,4692	133483,0495	133483,0495	296690,0870	131703,1990	133483,0495	129862,4439	...	261104,9168
3	Oferta	132	74	74	118	118	118	118	118	118	118	298	106	118	118	...	118
4																	
5	FO	R\$ 660.192.987,78															
6	XI	93,7586	74	38,5	118	118	118	33,0291	88,75	118	118	87,4609	106	118	118	...	0

Figura 7- Planilha Excel com dados e resultados

O comando @OLE() permite utilizar uma planilha Excel para importar os dados, e exportar os resultados para a mesma planilha, tornando a leitura dos dados mais facilitada.

Os valor da função objetivo, que representa os custos totais de um dia de voos, pode apresentar uma grande variação com relação aos custos reais, pois a compra de combustível é feita por lotes importados de outros países. Além disso, não se levou em consideração o lucro obtido com os voos, o que iria abater uma parte desses custos.

5. A contribuição da indústria de bebidas para a produção de biocombustíveis

Embora a Pesquisa Operacional seja uma ótima ferramenta para ajudar na tomada de decisões, muitas vezes, o tomador de decisão não consegue empregar de forma eficiente a solução ótima encontrada pelos métodos teóricos, no contexto real. Para isso, outras alternativas para solucionar o problema, seja integralmente ou parcialmente, devem ser estudadas e cogitadas.

Além do emprego da Programação Linear para otimizar o custo com combustível dos voos, outra alternativa que pode auxiliar é a utilização de biocombustíveis. Os biocombustíveis com potencial para substituir a querosene de origem fóssil são obtidos a partir de óleos vegetais e matérias açucaradas processadas para obtenção de bioquerosene (CGEE, 2010). O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o segundo maior produtor de soja; portanto, pode produzir competitivamente essas matérias-primas. Entretanto, uma regulamentação pode ser necessária para que a matéria-prima para biocombustível para aviação não comprometa a produção de alimentos.

Mas, os resíduos vegetais, como palha, bagaço de cana (tanto do campo quanto da indústria) são encontrados em abundância, e torna-se uma boa alternativa (CHAIMOVICH; LYONS; FILOGONIO, 2013). Esses biocombustíveis são denominados de 'segunda geração' ou 'avançados' segundo o "Air Transport Action Group", pois são produzidos de forma sustentável e não impactam negativamente em valiosos recursos de alimentos, terra e água (ATAG, 2011).

Assim, algumas matérias primas necessárias para produção de biocombustíveis podem adquiridos da indústria de bebidas. Como é o caso da cana-de-açúcar, utilizada para produzir aguardente, onde, após seu processamento o bagaço pode servir como biomassa para bioquerosene de aviação. No Brasil, o biocombustível renovável com base na cana-de-açúcar está sendo desenvolvido pela empresa americana Amyris localizada no estado de São Paulo. Em junho de 2012, a empresa aérea Azul realizou um voo experimental, utilizando 50% deste biocombustível em relação ao combustível convencional (ANAC, 2013).

Outra possível matéria-prima são as algas, pois elas produzem a energia necessária para o seu metabolismo através da fotossíntese. Além disso, algumas são ricas em lipídios, o que torna suscetível o uso destas para produção de biocombustíveis (AGÊNCIA FAPESP, 2008). Os estudos estão testando se os açúcares disponíveis a partir de resíduos da indústria cervejeira podem ser uma fonte viável de carbono para o crescimento das algas (RODRIGUES DOS SANTOS, 2013).

Dessa forma, existe um estímulo para que a indústria de bebidas contribua com a redução nos custos com combustíveis de aviação, processando seus resíduos de forma a obter o bioquerosene renovável de aviação e assim podendo comercializar um novo produto.

Uma vez que a utilização do bioquerosene, tornará a importação de querosene fóssil inviável, e assim reduzirá os custos.

6. Considerações Finais

As análises dos vôos foram feitas, considerando que para cada destino foi utilizada uma aeronave diferente e que essa não voltaria a fazer nenhuma outra viagem partindo do aeroporto no dia estudado. Isso foi feito pois os dados reais de quantas aeronaves diferentes faziam cada voo não foram encontrados. Para uma obtenção de resultados melhores e mais realistas, seria necessário a obtenção destes dados, e assim saber quantas aeronaves diferentes operam no aeroporto, de cada modelo.

Nos resultados obtidos, a solução indica que dois vôos não tem retorno financeiro para companhia. Sendo o voo para LDB (Londrina) com o avião ATR72 - 7, com o custo de aproximadamente 217 mil reais por viagem, e o voo para VCP (Viracopos) com o avião E195 - 3 e custo de 261 mil reais. Assim, estes voos poderiam ser retirados do plano, pois a demanda para essas cidades já foi atingida com as viagens anteriores.

Entretanto, entende-se que outros fatores implicam para ocorrência ou não dos voos, e o tomador de decisão não deve ficar detido somente nos resultados teóricos obtidos da Pesquisa Operacional. Outra proposta seria a substituição total ou parcial do combustível utilizado nestes voos para o biocombustível, que mesmo não atingindo completamente o ótimo proposto, reduziria o custo do combustível para as empresas.

Visto que a produção de biocombustível no Brasil ainda é muito carente, a indústria de bebidas poderia estimular este mercado, através dos seus resíduos orgânicos, como o bagaço da cana de açúcar. Isso implicaria no mútuo benefício para os mercados, sendo ecologicamente corretos e financeiramente recompensados, as indústrias, por venderem seus resíduos, e as companhias aéreas por reduzirem os custos em relação ao combustível.

Referências

Agência Nacional de Aviação Civil. **Base de Dados Estatísticos do Transporte Aéreo**. 2019. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/empresas/envio-de-informacoes/base-de-dados-estatisticos-do-transporte-aereo>>. Acesso em: 7 jun. 2019.

AGÊNCIA FAPESP, 2008. Biodiesel feito de algas. Disponível <<http://www.agencia.fapesp.br/materia>>. Acesso em: ago, 2019.

ATAG, Air Transport Action Group. Powering the future of flight. Disponível em: <<http://www.atag.org/our-activities/sustainable-aviation-biofuels.html>>. Acesso em: ago, 2019.

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. Brazil's Action Plan on the reduction of Greenhouse Gas Emissions from aviation. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/publicacoes/brazil_actionplan.pdf>. Acesso em: ago, 2019.

CGGE. Biocombustíveis aeronáuticos: Progressos e desafios - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília, n. 8, 2010.

CHAIMOVICH, H.; LYONS, W.; FILOGONIO, A. Plano de voo para biocombustíveis de aviação no Brasil: plano de ação. São Paulo, 2013. Disponível em:

<<http://www.fapesp.br/publicacoes/plano-de-voo-biocombustiveis-brasil-pt.pdf?x=2>>.

Acesso em: ago, 2019.

GARBIN, Rafael Borne; HENKES, Jairo Afonso. A sustentabilidade na produção de biocombustíveis de aviação no Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 67-104, 2018.

CASNAV, Marcos dos Santos; UFF, Alexandre Camacho Paixão; CETIQT, Marccone Freitas dos Reis SENAI. Proposta de otimização do mix de produção utilizando o Método Simplex: um estudo de caso de uma confecção de moda íntima do município de Cordeiro–RJ. 2016.

DOS SANTOS, Janaina Maria Rodrigues. Utilização de efluente cervejeiro no cultivo de microalgas para a obtenção de óleo para biodiesel. 2013.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. McGraw Hill Brasil, 2013.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. Grupo Gen-LTC, 2009.

MUNDI, Index. Preços de Mercado. **INDEX MUNDI**, 2012.

Requisitos Operacionais: operações complementares e por demanda. RBAC 135, Emd. 03, 2014b.

Requisitos Gerais De Operação Para Aeronaves Civis. RBAC 91, Emd. 00, 2015.

WIKIPEDIA. **Embraer E-Jets E2, E-Jets, ATR-72, Airbus A320**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Embraer_E-Jets_E2>. Acesso em: 7 jun. 2019.