

EFICIÊNCIA OPERACIONAL - UMA ANÁLISE MAIS MODERNA

Hélcio Vieira Junior

Comando da Aeronáutica – Comando-Geral de Operações Aéreas
CGEGAR – SHIS QI 05 área especial 12 - Lago Sul
71615-600 - Brasília - DF
helciovj@yahoo.com.br

Resumo

Este artigo propõe a utilização da metodologia Análise Envoltória de Dados (DEA) para padronizar a mensuração da Eficiência Operacional individual ou em grupo dentro do Comando da Aeronáutica.

Começa descrevendo a lógica do funcionamento do método DEA e as premissas nas quais a metodologia se baseia.

Em seguida, a abordagem DEA denominada Restrição aos Pesos Virtuais é introduzida.

Por último, ilustra a aplicação da metodologia com um exemplo numérico onde são analisados os dados da taxa eficiência (torneio interno dos pilotos) de uma Unidade Aérea no ano de 2000. Os resultados da análise são comparados com a classificação inicial feita pela Unidade Aérea.

Palavras-Chaves: DEA; Restrição aos Pesos Virtuais; Eficiência Operacional; Militar.

Abstract

This paper proposes the Data Envelopment Analysis approach as a tool to standardize the measurement of individual or group Operational Efficiency inside the Brazilian Air Force.

It starts by describing the DEA methodology and the Virtual Weights Restrictions Approach.

A numerical example where the data of an internal championship of an Air Unit collected in the year 2000 is used to exemplify the methodology. The analysis results are compared with the initial rank made by the Air Unit.

Keywords: DEA; Virtual Weights Restrictions; Operational Efficiency; Military.

1. INTRODUÇÃO

A Aviação de Caça da Força Aérea Brasileira sempre se preocupou em avaliar a eficiência operacional de seus pilotos determinando padrões mínimos a serem alcançados tanto pelas Unidades Aéreas quanto pelos pilotos integrantes da mesma. Porém, a abordagem utilizada pelos diversos Esquadrões para a classificação de seus pilotos nem sempre se mostrou uniforme, variando de acordo com o julgamento dos seus Comandantes.

O objetivo deste trabalho é introduzir o conceito de DEA (Data Envelopment Analysis – Análise Envoltória de Dados) e sugerir seu emprego como uma ferramenta para padronizar a mensuração da Eficiência Operacional individual ou em grupo no Comando da Aeronáutica.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: no capítulo 2, a Análise Envoltória de Dados é apresentada; a abordagem DEA denominada Restrição aos Pesos Virtuais é vista no capítulo 3; o capítulo 4 descreve nossa proposta através de um estudo de caso e o capítulo

5 compreende nossas conclusões.

2. DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

De acordo com Hong et al [1] a “Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma técnica baseada em programação linear para a mensuração da performance relativa de organizações onde a presença de múltiplos inputs e outputs torna a comparação difícil. O DEA provê meios de avaliar a eficiência relativa destas organizações com mínima assunção prévia das relações inputs/outputs das organizações.”

O modelo DEA mais básico é o CCR, que foi proposto por Charnes, Cooper e Rhodes [2] em 1978. A idéia central do modelo CCR é a seguinte: a eficiência da organização avaliada, que a partir de agora denominaremos DMU, pode ser mensurada pela razão output por input, isto é, quão bem a DMU pode converter seus inputs nos seus outputs. Como normalmente trabalhamos em situações onde encontramos múltiplos inputs e outputs, nós vamos formar um único input virtual e um único output virtual para a DMU observada o , pelos ainda não conhecidos pesos v_i e u_r :

$$\text{Virtual input}_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} \quad , o \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (2.1)$$

$$\text{Virtual output}_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} \quad , o \in \{1, 2, \dots, n\}$$

onde x_{io} é o dado do input i na DMU o , y_{ro} é o dado do output r na DMU o , v_i é o peso do input i e u_r é o peso do output r .

Utilizando Programação Linear, nós podemos achar os pesos através da maximização da razão:

$$\theta_o = \frac{\text{Virtual output}_o}{\text{Virtual input}_o} \quad , o \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (2.2)$$

A variável θ_o será a eficiência da DMU o . Agindo desta maneira, nós teremos a máxima eficiência possível para a DMU observada.

Se adicionarmos uma restrição limitando a eficiência a ser menor ou igual a 1 para todas as DMU's, teremos a formulação do modelo CCR:

$$\begin{aligned} \text{Max } \theta_o &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \\ \text{S.T.} : \quad &\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j=1, 2, \dots, n \\ &v_i, y_r \geq 0, \quad \forall i, r \end{aligned} \quad (2.3)$$

Para transformarmos o problema fracional acima em um problema linear, nós iremos forçar o input virtual da DMU observada a ser igual a 1, obtendo, desta maneira, a formulação final do modelo CCR:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } \theta_o &= \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} \\
 \text{S.T.} : \sum_{i=1}^m v_i x_{io} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad j=1, 2, \dots, n \\
 v_i, y_r &\geq 0, \quad \forall i, r
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Para uma discussão mais aprofundada do modelo CCR e vários outros modelos DEA, sugerimos consultar Copper et al [3].

3. RESTRIÇÃO AOS PESOS VIRTUAIS

O uso de restrição aos pesos foi inicialmente proposto por Thompson et al [4]. Outros modelos para restrição aos pesos foram propostos por diversos pesquisadores. O principal problema destes métodos é que eles restringem os pesos diretamente. Como os pesos são dependentes das unidades de medida, isto nos leva a um problema dimensional. Além disto, Allen et al [5] apresentou que é muito difícil obter razões de substituição seguras ou achar limites claros na restrição direta aos pesos. Com o propósito de evitar estes problemas, Wong e Beasley [6] propuseram em 1990 o uso dos pesos virtuais.

A metodologia de pesos virtuais é baseada no uso de proporções, e conseqüentemente, não tem dimensão. Por definição, o output virtual é a soma ponderada de todos outputs, logo: $\sum_{r=1}^s \left(\frac{u_r y_{ro}}{\text{Virtual Output}} \right) = 1$. Facilmente observamos que a razão $\frac{u_r y_{ro}}{\text{Virtual Output}}$ representa a proporção que o output r representa no output virtual da DMU observada. Fixando limites superiores e inferiores $[LO_r, UO_r]$ ($0 \leq LO_r \leq UO_r \leq 1$) para cada output r , podemos restringir a importância que este output terá no output virtual:

$$LO_r \leq \frac{u_r y_{ro}}{\text{Virtual Output}} \leq UO_r, \quad \forall r \tag{3.1}$$

Procedendo do mesmo modo em relação aos inputs, teremos:

$$LI_i \leq \frac{v_i x_{io}}{\text{Virtual Input}} \leq UI_i, \quad \forall i \tag{3.2}$$

onde: $0 \leq LI_i \leq UI_i \leq 1, \forall i$.

Wong e Beasley propuseram três diferentes métodos para a utilização dos pesos virtuais:

- (a) Restringir apenas a DMU observada;
- (b) Restringir todas as DMUs; e
- (c) Restringir a DMU observada e uma DMU “media”.

Neste trabalho, iremos utilizar a metodologia (a), a qual denotaremos por Metodologia de Pesos Virtuais.

4. ESTUDO DE CASO

“Recentemente, temos visto uma grande variedade de aplicações de DEA para avaliar as performances de diferentes tipos de entidades, engajadas em diferentes tipos de atividades, em muitos diferentes contextos, em muitos diferentes países ... Exemplos incluem as atividades de manutenção da Força Aérea Americana em diferentes bases, ou da Força Policial na Inglaterra e País de Gales; as performances de filiais de bancos em Cyprus e Canadá; e a eficiência de Universidades em realizar suas funções de educação e pesquisa nos Estados Unidos da América, na Inglaterra e na França.” [3]

Para o estudo de caso foi realizada a avaliação DEA dos resultados da fase de qualificação da taça eficiência (torneio interno entre os pilotos) do 1º/16º Grupo de Aviação realizada no ano de 2000.

Os pilotos foram avaliados, conforme diretrizes determinadas pelo Comando Superior - III FAE, nas seguintes modalidades: Lançamento de Foguetes, Bombardeio Rasante de Baixo Arrasto, Bombardeio Picado, Bombardeio Rasante de Alto Arrasto, Tiro Terrestre e Bombardeio Nivelado. Caso o piloto atingisse os parâmetros estabelecidos em uma missão, era atribuído valor 1 à sua probabilidade de acerto (PA), caso contrário, valor 0. As médias de PA nas diversas modalidades que foram utilizadas como dados de output para a avaliação DEA estão listadas na figura 2.

Piloto/Modalidade	α	β	χ	δ	ε	γ
A	0,06948	0,06367	0,11310	0,05045	0,07103	0,03152
B	0,09264	0,08782	0,07310	0,09056	0,11776	0,06590
C	0,09537	0,08782	0,04690	0,07503	0,02617	0,06304
D	0,06267	0,07684	0,09379	0,09702	0,02617	0,07307
E	0,10899	0,08782	0,07310	0,07245	0,02617	0,06590
F	0,05995	0,06915	0,00000	0,08150	0,17009	0,06304
G	0,07629	0,08782	0,08000	0,09702	0,03925	0,09742
H	0,06267	0,07464	0,06621	0,05045	0,19626	0,09742
I	0,06948	0,06147	0,08690	0,07503	0,00000	0,08023
J	0,08174	0,06367	0,09931	0,09702	0,05234	0,09742
K	0,06540	0,07684	0,08000	0,03493	0,00000	0,08023
L	0,00000	0,00000	0,04138	0,00000	0,03925	0,01433
M	0,04632	0,08782	0,00000	0,08797	0,15701	0,06304
N	0,10899	0,07464	0,14621	0,09056	0,07850	0,10745

Figura 2: Outputs – médias de PA nas diversas modalidades da fase de qualificação

Por motivo de segurança (sigilo), os valores da figura 2 foram normalizados para somarem 1 em cada modalidade, assim como as modalidades foram aleatoriamente denominadas por letras gregas.

Na avaliação inicial feita pela Unidade Aérea, utilizou-se uma média simples das médias de PA, ou seja, cada modalidade entrou com $\frac{1}{6}$ do peso total. Com o objetivo de utilizar a Metodologia de Pesos Virtuais, utilizamos como limites superiores e inferiores dos pesos das modalidades uma variação de 80% do peso inicial utilizado pela Unidade Aérea, ou seja: $\frac{1}{6} - 80\% \leq \text{peso} \leq \frac{1}{6} + 80\% \Leftrightarrow 0,03333 \leq \text{peso} \leq 0,30000$. Como input utilizamos o valor 1 para todas as DMUs. O resultado gerado pela Metodologia de Pesos Virtuais foi o mostrado na figura 3.

DMU	Eficiência DEA	Rank
N	1.00000	1
H	1.00000	2
B	1.00000	3
G	0.96053	4
J	0.90407	5
E	0.86883	6
C	0.81925	7
D	0.81799	8
A	0.74524	9
F	0.00000	10
M	0.00000	11
I	0.00000	12
K	0.00000	13
L	0.00000	14

Figura 3: Eficiência DEA da Metodologia de Pesos Virtuais

Na figura 4, a avaliação inicial feita pelo 1º/16º Grupo de Aviação é comparada com a avaliação DEA dos mesmos dados.

Observamos que houve pouca alteração na classificação final dos pilotos, com a grande maioria ficando em até duas posições acima ou abaixo da classificação original feita pela Unidade Aérea.

Rank 1º/16º GA_v	Rank DEA
N	N
H	H
B	B
J	G
G	J
F	E
M	C
E	D
D	A
A	F
C	M
I	I
K	K
L	L

Figura 4: Classificação DEA x Classificação Unidade Aérea

Na avaliação anterior, foi considerado como input, para todos os pilotos, um valor constante 1, ou seja, só foram analisados os outputs dos pilotos, o que é uma sub-utilização da metodologia. Para aprofundarmos a análise, consideraremos como inputs os dados colhidos durante a fase de treinamento da taça eficiência do ano de 2000. Tais dados (normalizados para somarem 1) estão listados na figura 5.

Piloto/Modalidade	α	β	χ	δ	ε	γ
A	0.03636	0.06522	0.06667	0.06122	0.12500	0.03226
B	0.07273	0.08696	0.03333	0.04082	0.00000	0.03226
C	0.07273	0.04348	0.06667	0.04082	0.12500	0.06452
D	0.03636	0.04348	0.13333	0.06122	0.12500	0.04839
E	0.07273	0.08696	0.03333	0.08163	0.12500	0.03226
F	0.05455	0.08696	0.00000	0.06122	0.25000	0.06452
G	0.07273	0.08696	0.06667	0.06122	0.00000	0.06452
H	0.07273	0.04348	0.00000	0.06122	0.00000	0.06452
I	0.07273	0.06522	0.10000	0.04082	0.00000	0.06452
J	0.03636	0.00000	0.00000	0.06122	0.25000	0.06452
K	0.03636	0.00000	0.06667	0.06122	0.00000	0.06452
L	0.00000	0.00000	0.20000	0.00000	0.00000	0.03226
M	0.07273	0.04348	0.00000	0.08163	0.00000	0.06452
N	0.07273	0.08696	0.06667	0.04082	0.00000	0.04839

Figura 5: Inputs – média de PA nas diversas modalidades da fase de treinamento

Como limite dos pesos, foram utilizados para os outputs os mesmos do modelo anterior ($0,03333 \leq u_r \leq 0,30000, \forall r$) e para os inputs não alocamos limites ($0,00000 \leq v_i \leq 1,00000, \forall i$). O resultado desta análise confrontado com o resultado da análise inicial da Unidade Aérea encontra-se na figura 6.

Rank 1º/16º GA _v	Rank DEA com Inputs	Eficiência DEA com Inputs
N	N	1.00000
H	H	1.00000
B	B	1.00000
J	J	1.00000
G	<u>D</u>	1.00000
F	<u>A</u>	1.00000
M	<u>C</u>	1.00000
E	E	0.92594
<u>D</u>	G	0.92565
<u>A</u>	F	0.00000
<u>C</u>	M	0.00000
I	I	0.00000
K	K	0.00000
L	L	0.00000

Figura 6: Classificação DEA com Inputs x Classificação da Unidade Aérea

Analisando o resultado da figura 6, vemos que o grupo formado pelas DMUs *D*, *A* e *C* subiram, em relação à classificação da Unidade Aérea, quatro posições no ranking de classificação enquanto o grupo formado pelas DMUs *G*, *F* e *M* descenderam quatro posições. Tal ocorrência é explicada pelo fato de que ao introduzirmos os dados da fase de treinamento como inputs na Metodologia de Pesos Virtuais, as DMUs do primeiro grupo (*D*, *A* e *C*) se mostraram capazes de com menos recursos (inputs) obter mais resultados (outputs), conseguindo assim permanecer na fronteira eficiente, fato oposto ao que ocorreu com as DMUs do segundo grupo.

5. CONCLUSÕES

Nós propusemos a utilização da Metodologia de Pesos Virtuais como uma ferramenta para padronizar a mensuração da Eficiência Operacional individual ou em grupo no Comando da Aeronáutica.

Nos capítulos 2 e 3, a Análise Envoltória de Dados e a Metodologia de Pesos Virtuais, que foi a denominação dada por nós à abordagem DEA de Restrição aos Pesos Virtuais, foram estudadas.

Um exemplo numérico onde analisamos os dados referentes à Taça Eficiência do ano 2000 do 1º/16º Grupo de Aviação foi apresentado no capítulo 4. Neste capítulo percebeu-se que a utilização do DEA na avaliação dos dados mostrou-se compatível com a avaliação inicial feita pela Unidade Aérea. Após a introdução de dados de input no modelo, o resultado mostrou uma troca de posições entre dois grupos constituídos por três DMUs. Esta troca foi explicada pela flexibilidade do modelo DEA de mostrar quão bem uma DMU consegue transformar seus inputs em seus outputs. Nos parece bem lógico que um piloto que teve um desempenho apenas satisfatório na fase de treinamento e que melhorou sua performance na fase de qualificação deva ser mais bem qualificado que outro piloto que piorou seu desempenho.

Para trabalhos futuros, devemos testar outros modelos DEA nos dados estudados, assim como realizar uma análise de sensibilidade nos resultados apresentados por este artigo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Han Kook Hong et al, Evaluating the efficiency of system integration projects using data envelopment analysis (DEA) and machine learning. *Expert Systems with Applications* 1999; n.16: 283-296.
- [2] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research* 1978; n. 2: 429-444.
- [3] Cooper, W. W., Seiford, L. M., Tone, K., DATA ENVELOPMENT ANALYSIS – A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA – Solver Software: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [4] Thompson, R. G., Langemeier, L. N., Lee, C. T., Thrall, R. M., The Role of Multiplier Bounds in Efficiency Analysis with Application to Kansas Farming. *Journal of Econometrics* 1990; n.46: 93-108.
- [5] Allen, R., Athanassopoulos, A. D., Dyson, R. G., Thanassoulis, E., Weights Restrictions and Value Judgments in Data Envelopment Analysis: Evolution, Development and Future Directions. *Annals of Operations Research* 1997; n. 73: 13-34.
- [6] Wong, Y.-H. B., Beasley, J. E., Restricting Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis. *Journal of the Operational Research Society* 1990; Vol. 41, n. 9: 829-835.