

# SELEÇÃO DE ROTA MARÍTIMA DE CONTÊINERES UTILIZANDO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS: UM ESTUDO DE CASO

**Marcio Arzua Caillaux**

**Lidia Angulo Meza**

**Annibal Parracho Sant'anna**

**João Carlos Correia Baptista Soares de Mello**

Universidade Federal Fluminense

Escola de Engenharia

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para avaliar a eficiência das opções de rotas marítimas de contêineres de uma empresa transportadora, utilizando a ferramenta DEA – Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis*). São usados dados de uma empresa brasileira de transporte marítimo que possui rotas de navios fixas e regulares entre os portos da costa leste da América do Sul. O caso escolhido para o estudo foi o de embarque no porto de Santos (SP) com destino ao porto de Suape (PE). As possíveis rotas do contêiner entre essas duas localidades são analisadas utilizando-se a metodologia DEA. As eficiências são calculadas sob duas diferentes óticas, determinadas através de restrições aos pesos das variáveis. São usados dados reais de tempo de transporte, produtividade e custos dos terminais portuários, tais como: armazenagem do contêiner e custo da operação de transbordo.

## ABSTRACT

This paper aims the development of a methodology to evaluate the efficiency of maritime routes of containerized cargoes of a carrier company, using DEA (Data Envelopment Analysis) tool. It uses data of a Brazilian shipping company which has vessels in fixed and regular routes along South America east coast. The selected case for this paper was the cargo with origin at the port of Santos (Sao Paulo State) and destiny at the port of Suape (Pernambuco State). The possible container's routes between those two locations are analyzed using DEA methodology. The efficiencies are calculated using two different approaches, determined through variables weight restrictions. This paper uses actual data regarding time of transportation, productivity and cost of the port terminals, such as: container storage and operational transshipment cost.

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte marítimo representa 80% do comércio internacional. O Brasil possui 7.408 km de extensão de costa, onde as principais cidades, os pólos industriais e os centros consumidores concentram-se no litoral ou próximos a ele. O segmento de transporte de cabotagem (entre os portos brasileiros) e envolvendo os portos da Argentina e Uruguai tem crescido significativamente nos últimos anos, e há perspectivas de aumento de demanda para os próximos anos.

O presente trabalho usa dados de uma empresa que atua há mais de 50 anos na prestação de serviços de transporte marítimo entre diversos portos do mundo. Atualmente, o serviço foco da empresa é o que envolve os portos da costa leste da América do Sul. Neste serviço, são treze navios distribuídos em três rotas fixas e regulares.

Em diversos casos, uma única rota de navios não escala diretamente a origem e destino solicitado pelo cliente ao transportador marítimo. Esta impossibilidade de conexão direta é consequência da configuração atual do serviço, onde nenhuma das três rotas existentes escala diretamente todos os onze portos. Neste caso, haverá a necessidade de trasbordar a carga de uma rota de navios para outra em algum porto. Também há casos em que o tempo em trânsito da carga pode ser menor caso o contêiner seja transbordado de uma rota de navios para outra, em algum momento da operação.

No serviço em estudo, existem diferentes caminhos que um contêiner pode percorrer entre uma determinada origem e destino. O transportador marítimo nem sempre escolhe a melhor alternativa disponível por falta de um instrumento que compare todas as opções e aponte a mais eficiente delas.

O objetivo desse trabalho é apoiar o transportador marítimo na tomada de decisão, definindo a melhor rota de um contêiner entre a origem e destino solicitados pelo cliente. Duas abordagens distintas serão estudadas na seleção da rota mais eficiente: na primeira, quando o cliente deseja rapidez no transporte, sem se importar com o frete que lhe será cobrado. Na segunda, o cliente deseja pagar menos pelo transporte e o tempo em trânsito de sua carga é pouco relevante.

## 2. METODOLOGIA DEA

A história da Análise Envoltória de Dados começa com a tese para obtenção de grau Ph.D. de Edward Rhodes sob a supervisão de W.W. Cooper, publicada em 1978 (Charnes *et al.*, 1978). O objetivo da tese foi desenvolver um modelo para estimar a eficiência técnica sem recorrer ao arbítrio de pesos para cada variável de *input* ou *output*, e sem converter todas as variáveis em valores econômicos comparáveis.

Em contraste com as aproximações paramétricas, cujo objetivo é determinar um hiperplano de regressão ótimo, DEA otimiza cada observação individual com o objetivo de calcular uma fronteira de eficiência.

A eficiência 100% é atingida por uma unidade quando comparações com as outras unidades não provem evidência de ineficiência no uso de qualquer *input* ou *output*. Este conceito permite diferenciar entre estados de produção eficientes e ineficientes. Descrevem-se a seguir dois modelos DEA clássicos: o modelo CRS (ou CCR) e o VRS (ou BCC).

O modelo CCR determina uma fronteira CRS (*Constant Returns to Scale*) que indica que crescimentos proporcionais dos *inputs* produzirão crescimentos proporcionais dos *outputs*. O modelo VRS (*Variable Returns to Scale*) diferencia-se do modelo CRS por considerar a possibilidade de rendimentos crescentes ou decrescentes de escala na fronteira eficiente.

Modelos com orientação ao *input* indicam que se deseja minimizar a utilização de recursos tal que o nível dos *outputs* não se reduza. Modelos com orientação ao *output* indicam que o objetivo é maximizar os produtos obtidos sem alterar o nível atual dos *inputs*.

DMUs são as unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units*) e, geralmente, são representadas pelas empresas, setores ou instituições a serem avaliadas. Estas devem ser homogêneas, ou seja, atuam no mesmo tipo de negócio, realizam as mesmas tarefas com os mesmos objetivos e estão trabalhando nas mesmas condições de mercado. As variáveis utilizadas para cada DMU devem ser iguais.

Em sua formulação matemática, considera-se que cada DMU  $k$ ,  $k = 1, \dots, n$ , é uma unidade de produção que utiliza  $n$  *inputs*  $x_{ik}$ ,  $i = 1, \dots, r$ , para produzir  $m$  *outputs*  $y_{jk}$ ,  $j = 1, \dots, s$ . O modelo CCR maximiza o quociente entre a combinação linear dos *outputs* e a combinação linear dos *inputs*, com a restrição de que, para qualquer DMU, esse quociente não pode ser maior que 1. Assim, para uma DMU  $o$ ,  $h_o$  é a eficiência;  $x_{io}$  e  $y_{jo}$  são os *inputs* e *outputs* da

DMU  $o$ ;  $v_i$  e  $u_j$  são os pesos calculados pelo modelo para *inputs* e *outputs*, respectivamente. A seguir, encontra-se o modelo CCR:

Maximizar

$$h_o = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}}$$

Sujeito a

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, \quad k = 1, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall i, j$$

(1)

Mediante alguns artifícios matemáticos, esse modelo pode ser linearizado, transformando-se em um Problema de Programação Linear (PPL) apresentado a seguir:

Maximizar

$$h_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo}$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \quad k = 1, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall i, j$$

(2)

Embora os modelos DEA tenham a vantagem de permitir fazer ordenações sem depender de opiniões de decisores, são extremamente benevolentes com as unidades avaliadas. Estas podem ser eficientes ao considerar apenas algumas das variáveis, a saber, aquelas que lhes são mais favoráveis. Uma interpretação não matemática desse fato pode ser encontrada em Novaes (2001). Essa característica de benevolência dos modelos DEA faz com que ocorram empates para as unidades 100% eficientes, o que provoca uma baixa discriminação entre as DMUs.

Na área de transportes são encontrados estudos utilizando-se DEA nos diversos modais de transporte. Novaes (2001) analisa a eficiência e ganhos de escala de 21 metrô de diversas cidades do mundo, além de analisar o benchmarking de metrô não eficientes, com ênfase ao metrô de São Paulo.

No setor aéreo, em Soares de Mello *et al.* (2003), é feito um estudo da eficiência e dos benchmarks para as companhias aéreas brasileiras. Ainda no transporte aéreo, estudos de eficiência que utilizam DEA e que consideram aspectos financeiros são encontrados em Fernandes & Capobianco (2000). Um modelo com aspectos financeiros e não financeiros é usado por Adler & Golany (2001). Para a avaliação de desempenho de companhias aéreas ou

aeroportos, outras abordagens não financeiras são encontradas em, por exemplo, Charnes *et al.* (1996) e Fernandes & Pacheco (2002). Essas abordagens têm em comum o fato de calcularem uma única eficiência para cada DMU.

No setor marítimo, os primeiros estudos utilizando-se DEA foram realizados no setor portuário por Roll e Hayuth (1993), que trabalharam com dados hipotéticos e demonstraram como suas eficiências poderiam ser mensuradas. Alguns outros poucos trabalhos nesta linha foram publicados, como, por exemplo, Martinez-Budría *et al.* (1999), que analisaram vinte e seis portos espanhóis no período de 1993 a 1997, em um total de 130 observações, utilizando três *inputs* (despesas com pessoal, taxas de depreciação e outros gastos) e dois *outputs* (total de carga movimentada e receita obtida no aluguel de facilidades). Tongzon (2001), com 16 terminais de diferentes países, utilizou um *output* (TEUs) e seis *inputs* (número de guindastes, número de berços, número de rebocadores, número de funcionários, área do terminal e tempo de espera) para realizar uma análise de suas eficiências. Itoh (2002) analisou a eficiência operacional dos oito maiores terminais de contêineres do Japão, utilizando como número de TEUs movimentados por ano e os *inputs* foram divididos em 3 categorias: infra-estrutura (área do terminal e número de berços), superestrutura (número de guindastes) e número de trabalhadores. Turner *et al.* (2004) mediram a eficiência de 26 terminais de contêineres dos Estados Unidos e Canadá entre 1984 a 1997. Os *inputs* escolhidos foram a área do terminal, número de guindastes e tamanho do berço. O *output* considerado foi o número de TEUs movimentados.

### 3. MODELAGEM

No serviço de cabotagem e Mercosul, oferecido pela empresa estudada, onze portos são escalados por treze navios, distribuídos em três rotas fixas e regulares (I, II e III), ao longo da costa leste da América do Sul, a saber: Manaus (AM), Vila do Conde (PA), Fortaleza (CE), Suape (PE), Salvador (BA), Vitória (ES), Sepetiba (RJ), Santos (SP), Rio Grande (RS), Montevideu (Uruguai) e Buenos Aires (Argentina).

Existem, nesse serviço, 110 possíveis combinações origem-destino (nos sentidos norte e sul) oferecidas ao cliente pela empresa transportadora. Esta, dispondo de suas três rotas de navios, deve definir o trajeto que o contêiner percorrerá entre a origem e destino solicitados pelo cliente. Mas, para isso, ela deverá escolher a opção mais eficiente sob um dos seguintes critérios a ser escolhido pelo cliente:

- a) O cliente considera o menor tempo em trânsito da carga o fator mais importante, e o frete que lhe será cobrado menos relevante. Neste caso, o cliente deseja rapidez no serviço de transporte.
- b) O cliente considera o frete que lhe será cobrado o fator mais importante, e o tempo em trânsito da carga menos relevante. Neste caso, o cliente deseja pagar menos pelo serviço de transporte.

O presente trabalho delimita-se a apenas 1 das 110 opções origem-destino, entre os portos da costa leste da América do Sul, oferecidas pela referida empresa. A opção em estudo é o caso de embarque no porto de Santos (SP) com destino ao porto de Suape (PE), onde haja necessidade de transbordar a carga em algum momento da operação. A escolha do caso foi com base no porto de maior volume de carga da América do Sul (Santos) e outro de grande

importância no Nordeste brasileiro (Suape). Além disso, verifica-se, nos últimos anos, uma crescente evolução relacionada ao volume de carga transportada entre essas duas notáveis localidades.

O contêiner deverá embarcar em um primeiro navio (da rota I, II ou III), fazer o transbordo em algum porto para, em seguida, embarcar em um segundo navio (da rota I, II ou III), conforme mostra a tabela abaixo:

**Tabela 1:** Etapas operacionais do transporte marítimo de contêiner com transbordo

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5
Chegada do contêiner no porto de origem	Embarque do contêiner no porto de origem	Desembarque do contêiner no porto de transbordo	Embarque do contêiner no porto de transbordo	Chegada do contêiner no porto de destino
	1° navio (rota I, II ou III)		2° navio (rota I, II ou III)	

As DMUs são representadas pelas possíveis rotas entre o porto de Santos (SP) e o de Suape (PE). Pela atual configuração do serviço em estudo, existem 13 DMUs entre esses dois portos. Dessa forma, o estudo foi limitado à utilização de três variáveis, sendo duas *inputs* e uma *output*, a saber:

*Input 1: tempo*

O tempo em trânsito da carga inicia-se com a chegada do contêiner no porto de origem (etapa 1) e encerra-se com a chegada do contêiner no porto de destino (etapa 5).

No estudo é utilizado o calendário real do serviço, contendo as datas programadas para as escalas dos navios das rotas I, II e III, nos onze portos. As rotas I e III possuem frequência semanal, e, a rota II, quinzenal. Foi determinada a data de 01/07/2005 para a chegada do contêiner no porto de origem.

*Input 2: custo*

Três tipos de custos são considerados, a saber:

- Custo de armazenagem do contêiner antes do embarque, cobrado pelo terminal portuário do porto de origem (etapa 1 até 2);
- custos de armazenagem do contêiner durante a conexão, cobrado pelo terminal portuário do porto de transbordo (etapa 3 até 4);
- custo da operação de transbordo, cobrado pelo terminal portuário do porto de transbordo. Consideram-se, nesse item, as duas operações: desembarque do contêiner do primeiro navio e o embarque do mesmo, no segundo (etapas 3 e 4).

Os custos de embarque do contêiner no porto de origem e desembarque no porto de destino são desconsiderados, visto que eles são os mesmos para todas as DMUs.

Os custos acima citados cabem ao transportador marítimo. Este, ao receber o pedido de transporte do cliente, analisa os custos inerentes ao serviço de transporte que será realizado e, teoricamente, calcula o frete que será cobrado do cliente com base numa estimativa de custos que terá na operação completa, que inclui, dentre outros, os três citados acima.

Ressalta-se que, teoricamente, quanto menor for o custo do transportador marítimo na operação, menor será o frete cobrado do cliente.

No estudo são utilizados os custos reais de cada terminal portuário.

#### *Output 1: produtividade*

Representa a produtividade do porto, isto é, a quantidade de contêineres que o terminal portuário é capaz de movimentar num dado período de tempo. Sua medida é em movimentos por hora. O terminal portuário mais produtivo é aquele que movimenta a maior quantidade de contêineres por período.

A produtividade é a medida de eficiência do terminal portuário. Ela tem relação tanto com o tempo em trânsito da carga quanto com o custo da operação. Quanto maior a agilidade do terminal portuário na movimentação de cargas, menos tempo levará a operação. Com relação aos custos de seus serviços, o terminal portuário mais produtivo geralmente tende a oferecer as tarifas mais baixas, devido a sua capacidade de movimentar maior volume de carga e, conseqüentemente, gerar maior receita.

No estudo são considerados os históricos de produtividade de cada porto. Observa-se que as rotas I, II e III não têm as mesmas produtividades num determinado porto, pois possuem navios com portes e características técnicas diferentes. Portanto, é natural que a performance do terminal portuário varie dependendo do tipo de navio que esteja em operação.

## **4. MODELOS UTILIZADOS**

Optou-se por utilizar o modelo CRS, por se tratar de uma avaliação menos benevolente e, portanto, com maior caráter discriminatório que o modelo VRS. O modelo foi orientado a *input*, pois se deseja minimizar os recursos utilizados na operação sem que o nível de *outputs* se reduza.

As variáveis utilizadas são iguais, mudando apenas sua magnitude em função da escala de operação. Para o cálculo das eficiências, utilizou-se o software SLAD (Angulo Meza *et al.*, 2004). Este usa o algoritmo Simplex (Dantzig, 1963) para a resolução de Problemas de Programação Linear (PPL). Além disto, considera uma abordagem em Kuenzi *et al.* (1971) que inclui uma sub-rotina para evitar problemas de degeneração, um problema comum em DEA, devido à típica estrutura dos DEA PPLs.

Quanto à restrição aos pesos das variáveis, foram usadas as duas abordagens descritas no item 3. Na primeira delas, o cliente deseja rapidez no transporte (abordagem tempo) e, na outra, deseja pagar o menor frete (abordagem custo). Essa mudança na restrição aos pesos para mudar o foco da análise pode ser encontrada em Gonçalves (2005). Na tabela 2, verifica-se a eficiência de cada DMU e suas classificações, sob as duas diferentes óticas.

**Tabela 2:** Eficiências – Modelo CRS orientado a *input*

DMUs	Eficiência Composta (abordagem tempo)	Eficiência Composta (abordagem custo)	Nova classificação	
DMU A	1,000000	1,000000	1	DMU B
DMU B	0,965469	0,995873	2	DMU C
DMU C	0,860398	0,899939	3	DMU E
DMU D	0,847875	0,894973	4	DMU F
DMU E	0,847726	0,510884	5	DMU L
DMU F	0,746313	0,494908	6	DMU A
DMU G	0,746002	0,484861	7	DMU D
DMU H	0,701357	0,476678	8	DMU G
DMU I	0,635774	0,472708	9	DMU H
DMU J	0,495159	0,399008	10	DMU M
DMU L	0,474157	0,355328	11	DMU N
DMU M	0,363683	0,350883	12	DMU I
DMU N	0,186418	0,338739	13	DMU J

Na tabela 2, como se pode observar, a DMU A é a rota mais eficiente quando o cliente deseja rapidez no transporte, mas não possui um bom desempenho sob a abordagem custo. Por outro lado, a DMU B possui a melhor eficiência sob a abordagem custo e uma ótima performance no que se refere ao tempo em trânsito da carga, apesar de não ser a mais eficiente sob essa ótica.

As DMUs N e J possuem o pior desempenho sob o critério tempo e custo, respectivamente. Essas DMUs não alcançam bom desempenho em ambas abordagens e devem ser consideradas como últimas alternativas de rotas a serem escolhidas pelo transportador marítimo.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Tendo em vista a necessidade de fortalecer esse modal de transporte, tornando-o mais competitivo e contribuindo para uma logística integrada, esta ferramenta pode ser útil e aplicável a qualquer serviço oferecido pelas empresas de navegação em geral.

Atualmente, a empresa estudada não possui uma ferramenta de auxílio no apoio à decisão relacionada à seleção de rota marítima de contêiner na costa leste da América do Sul. Tampouco existe uma metodologia desenvolvida para medir a eficiência das rotas de cargas, a partir de rotas fixas de navios previamente definidas.

Entre os possíveis desenvolvimentos futuros desta pesquisa, destaca-se o transporte de outros tipos de contêineres, incluindo o específico para carga refrigerada, que possui diferentes custos de armazenagem nos terminais portuários.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os colegas que ajudaram com informações e sugestões ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adler, N. e B. Golany (2001) Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. *European Journal of Operational Research*, North-Holland, p. 260-273.

- Angulo-Meza, L.; L. B. Neto; J. C. C. B. Soares de Mello; E. G. Gomes e P. H. G. Coelho (2004) FSDA – Free Software for Decision Analysis (SLAD – Software Livre de Apoio a Decisão): A Software Package for Data Envelopment Analysis Models. *12º Congresso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa y Sistemas*, La Habana, Cuba.
- Charnes, A.; A. Gallegos e H. Li (1996) Robustly efficient parametric frontiers via Multiplicative DEA for domestic and international operations for the Latin America airline industry. *European Journal of Operational Research*, North-Holland, p. 525-536.
- Charnes, A.; W. W. Rhodes e E. Rhodes (1978) Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, North-Holland, p. 429-444.
- Dantzig, G.B. (1963) Linear Programming and Extensions. *Princeton University Press*, Princeton, NJ, USA.
- Fernandes, E. e H.M.P. Capobianco (2000) *Eficiência e estratégia financeira de empresas de aviação: uma comparação internacional*. Editora COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 85-102.
- Fernandes, E. e R. R. Pacheco (2002) Efficient use of airport capacity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, North-Holland, p. 225-238.
- Gonçalves, L. C. N. I. (2005) *Avaliação de eficiência na logística de distribuição: estudo de caso na entrega domiciliar de jornais no Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.
- Itoh, H. (2002) Efficiency changes at major container ports in Japan: A window application of DEA, *Rurds*, v. 14, n. 2.
- Kuenzi, H.P.; H.G. Tzschach e C. A. Zehnder (1971) Numerical Methods of Mathematical Optimization. *Academic Press*, NY, USA.
- Martinez-Budria, E.; R. D. Armas; M. N. Ibanez e R. Mesa (1999) A study of the efficiency of spanish port authorities using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Transport Economics*, v. 26, n. 2, p. 237-253.
- Novaes, A.G.N. (2001) Rapid-transit efficiency analysis with the assurance-region DEA method. *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 179-197.
- Roll, Y e Y. Hayuth (1993) Port performance comparison applying DEA. *Maritime Policy and Management*, v. 20, n. 2, p. 153-161.
- Soares de Mello, J. C. C. B.; L. A. Meza; Gomes, E.G.; Serapião, P. B. e M. P. E. Lins (2003) Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p. 325-345.
- Tongzon, N. J. (2001) Efficiency Measurement of select Australian an international port using Data Envelopment Analysis. *Transportation Research*, North-Holland, part A, v. 35, p. 113-128.
- Turner, H.; R. Windle e M. Dresner (2004) North American container port productivity. *Transportation Research*, North-Holland, part E, v. 40, p. 339-356.

---

Marcio Arzua Caillaux (arzuabr@yahoo.es)

Lidia Angulo Meza (lidia@metal.eimvr.uff.br)

Annibal Parracho Sant'anna (aparracho@uol.com.br)

João Carlos Correia Baptista Soares de Mello (jcsmello@producao.uff.br)

Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense

Rua Passo da Pátria, 156 – Niterói, RJ, Brasil