

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA PORTUÁRIA USANDO A METODOLOGIA DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

PORT EFFICIENCY ANALYSIS USING DATA DEVELOPMENT ANALYSIS (DEA) METHOD

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE PUERTOS USANDO LA METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS ENVOLENTE DE DATOS (DEA)

Gabriel Campos Pires

Graduação em Engenharia de Produção pela University of Tennessee, Knoxville, UTK, Estados Unidos.

Consultor Comercial - Stone Pagamentos

Telefone: (47) 9 9286-9165;

E-mail: gabrielcpires@gmail.com

Artigo recebido em 30/12/2016. Revisado por pares em 07/03/2017. Reformulado em 30/03/2017. Recomendado para publicação em 20/03/2017. Publicado em 30/04/2017. Avaliado pelo Sistema *double blind review*.



RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo da eficiência relativa de determinados portos utilizando do método da análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*). No decorrer do trabalho são apresentados os portos escolhidos para o estudo, bem como as variáveis definidas (*inputs* e *outputs*) para a modelagem e o modelo matemático baseado em programação linear. Na sequência, apresenta-se a eficiência relativa obtida em cada porto em análise e, a partir do *benchmarking*, uma comparação entre os portos é realizada, propondo mudanças com o objetivo de otimizar as operações portuárias.

Palavras-chaves: Eficiência Portuária; *Data Envelopment Analysis*; *Benchmarking*.

ABSTRACT

This work presents a study of relative efficiency of some ports using the Data Development Analysis (DEA). During the work, some ports chosen for the study are presented, as well as defined variables, inputs and outputs for modeling, and the mathematic model based on linear programming. Next, the relative efficiency obtained in each port is presented, and a comparison among the ports is carried out from the benchmarking, proposing changes in order to optimize port operations.

Keywords: Port efficiency; Data Envelopment Analysis; Benchmarking.

RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio de la eficiencia relativa de determinados puertos utilizando el método de análisis envolvente de datos (*Data Envelopment Analysis – DEA*). Durante el trabajo son presentados los puestos elegidos para estudio, así como las variables definidas (*inputs* e *outputs*) para modelaje y el modelo matemático basado en programación lineal. En seguida se presenta una comparación de la eficiencia obtenida de cada puerto en análisis, y desde el *benchmarking*, una comparación entre los puertos es realizada, proponiendo cambios con el objetivo de optimizar las operaciones de los puertos.

Palabras clave: Eficiencia de los puertos; *Data Envelopment Analysis*; *Benchmarking*.

1 INTRODUÇÃO

O transporte marítimo tem sido o agente responsável pela globalização desde a época das grandes navegações no século XV. Sua importância tem aumentado cada vez mais, e em 2013, o transporte aquaviário foi responsável pela movimentação de 9,2 bilhões de toneladas de cargas transportadas mundialmente. O modal é protagonista do comércio e da economia global, transportando cerca de 80% do comércio mundial em volume, e mais de 70% do comércio global em valor (UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT – UNCTAD, 2013).

No Brasil, a importância do modal em relação ao transporte de cargas é equivalente à importância mundial. O modal marítimo apresenta-se como o principal meio de escoamento da produção nacional para os diferentes parceiros econômicos do Brasil, e também como um modal fundamental de transporte em território nacional. Esse transporte em território nacional denomina-se cabotagem, que funciona como efetivo substituto ao já saturado transporte rodoviário e ao precário modal ferroviário. Segundo dados elaborados pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), o modal marítimo foi responsável, no ano de 2013, por 98% das exportações em toneladas, e 84% das exportações nacionais em valor (dólares) (ANTAQ, 2014).

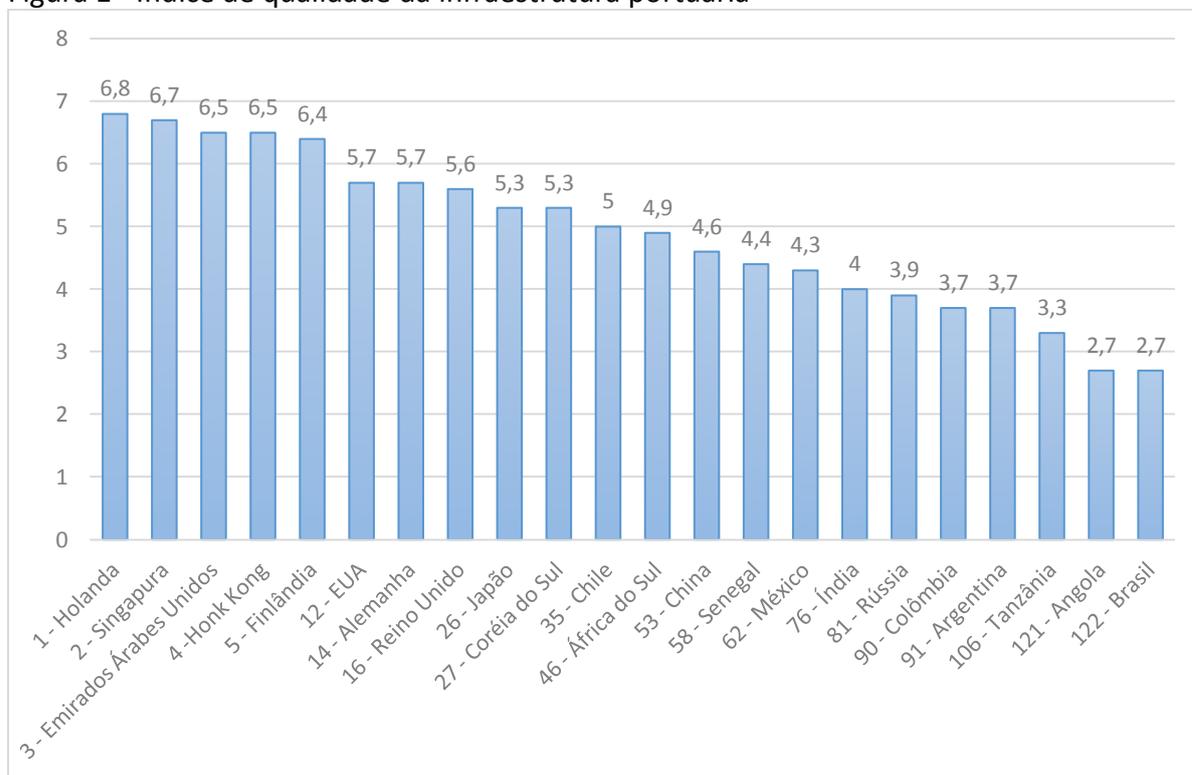
O transporte aquaviário brasileiro ainda sofre com baixa eficiência, relacionada principalmente à infraestrutura e à movimentação de cargas, agravado caso a eficiência do sistema nacional for comparada a sistemas internacionais. É possível visualizar essa lacuna entre os portos brasileiros e estrangeiros através do índice de qualidade da infraestrutura do *Global Competitiveness Report* (GCR). A

Figura 1 apresenta resultados de países selecionados para o ano de 2014, e representa o desanimador quadro atual da estrutura portuária brasileira.

O número anterior a cada país indica a posição do mesmo no *ranking*, que envolve 144 nações, e os números acima de cada barra referem-se às notas de cada país. O Brasil posiciona-se atrás de todos os países fundadores do grupo político de cooperação formado entre Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS), de alguns países latino americanos, como Chile, Colômbia, Argentina e México, e também de alguns países africanos, como

Senegal, Tanzânia e Angola. Em relação à pesquisa anterior, na qual o país havia obtido a posição 131 de 148 países pesquisados, houve uma pequena melhora de posições; porém, a nota obtida foi a mesma que a atual.

Figura 1 - Índice de qualidade da infraestrutura portuária



Fonte: *World Economic Forum* (GCR, 2014).

Diante desse cenário, evidencia-se a necessidade da utilização de alguma metodologia que, além de calcular a eficiência portuária, também possa fornecer resultados acerca de melhorias a serem realizadas.

A metodologia a ser empregada neste trabalho, para o cálculo da eficiência nos portos brasileiros, será a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis, DEA*), brevemente resumida como um método baseado em programação linear, cujo objetivo é medir a eficiência de unidades de decisão, fornecendo dados quantitativos sobre possíveis direções a serem tomadas para a melhoria dessas unidades, quando se encontram ineficientes.

Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo propor um modelo matemático, com uso do método DEA, para avaliar a eficiência relativa de portos e terminais portuários, no intuito de auxiliar no planejamento e tomada de decisão relacionadas à área aquaviária.

Para isso, foi realizada revisão bibliográfica relacionada à temática deste trabalho, selecionando as principais variáveis a serem consideradas na eficiência de um terminal portuário. Ao mesmo tempo, foram contatadas autoridades portuárias no intuito de realizar parcerias e obter os dados necessários para a inserção no modelo a ser desenvolvido.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: a seção 2 contém o referencial teórico envolvendo a definição de desempenho/eficiência e um panorama da eficiência de alguns portos; a seção 3 apresenta o método da Análise Envoltória de Dados; e na seção 4 é apresentado o estudo de caso proposto neste trabalho, incluindo a determinação das diferentes variáveis para mensuração da eficiência portuária dos portos definidos para o estudo, além da modelagem do problema. É válido citar que, para a resolução do problema, foi utilizado o software *Frontier Analyst Application*. Na seção 5 é realizada uma análise dos resultados, comparando os valores obtidos através do *benchmarking*, propondo soluções para otimizar as operações. Por fim, na seção 6 apresentam-se as conclusões obtidas pelo método desenvolvido, e a bibliografia utilizada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta o referencial teórico relativo a conceitos de eficiência, eficiência portuária, bem como um panorama dos portos.

2.1 DEFINIÇÃO DE EFICIÊNCIA

Segundo Reinaldo (2002), a análise da eficiência das organizações é um tema que sempre despertou o interesse de pesquisadores, principalmente devido às dificuldades encontradas para medi-las. Estas análises são imprescindíveis no sentido de identificar os fatores negativos e os problemas existentes nas organizações, visando a extingui-los ou, pelo menos, amenizá-los. Desse modo, procura-se obter uma eficiência ideal, otimizando insumos e produtos utilizados nos processos.

Eficiência pode ser definida como o quanto aquilo que foi medido se aproxima do valor esperado ou quantidade de referência (PEARSON, 1993). Segundo Rios e Maçada (2006), a eficiência é a comparação entre o que foi alcançado (*outputs*) e o máximo valor que poderia ser alcançado a partir de recursos utilizados (*input*). Conforme Clark *et al.*

(2001), a eficiência portuária é um importante fator para os custos de transporte. Os autores afirmam, ainda, que se a eficiência de um porto é aumentada de 25 para 75 por cento, os custos de transporte podem ser reduzidos em até 12 por cento. Portos ineficientes encarecem o transporte pelo excesso de manuseio das cargas.

Merk e Dang (2012) sugerem que a eficiência portuária é importante indicador da performance de um porto e concluem que, quanto mais eficiente for o porto, menores serão os custos envolvidos e maior será a facilidade de importação e exportação de determinado país.

Para Pearson (1993), a eficiência técnica mede a proximidade entre a quantidade de produto produzida por uma empresa e a quantidade máxima de produtos que aquela empresa poderia gerar, dado o nível de insumos que pratica, ou usando a mínima quantidade de insumos suficiente para produzir determinado nível de produto. Esta definição pode ser relacionada para o presente trabalho, levando em conta que a eficiência relativa dos portos pode ser calculada com orientação aos *inputs*, minimizando-os e mantendo os *outputs* constantes ou orientado aos *outputs*, maximizando-os e mantendo os *inputs* constantes.

2.2 PANORAMA DE EFICIÊNCIA DE ALGUNS PORTOS

Costa (2015), ao analisar a movimentação de carga medida em *Twenty-foot Equivalent Unit* (TEU)¹, considera Xangai, Cingapura, Shenzhen, Hong Kong, Busan, Ningbo, Qingdao, Guangzhou, Dubai e Tianjin os dez portos mais importantes do mundo, enquanto destaca que a extraordinária ascensão econômica chinesa, com sete dos dez principais portos, e conseqüentemente seu protagonismo no comércio mundial fez com que os portos às margens do Pacífico finalmente ultrapassassem os terminais à beira do Atlântico nas transações de exportação/importação.

Merk e Dang (2012) calculam a eficiência global de portos nos segmentos de contêineres e granéis usando alguns métodos, dentre eles o DEA. Os valores da eficiência

¹ Medida standard utilizada para calcular o volume de um contêiner - unidade equivalente a 20 pés (LUIZ, 2013).

global para alguns dos dez principais portos², propostos por Oliveira (2003), dentro de uma escala de 0 até 1, é de 0 para um terminal ineficiente e 1 para um eficiente. No quesito terminais de contêineres são: Hong Kong e Guangzhou entre 0,700 e 0,800; Xangai e Shenzhen, entre 0,600 e 0,700; Busan, entre 0,500 e 0,600. Para terminais especializados em petróleo, os valores são: Qingdao, entre 0,500 e 0,600; Hong Kong e Ningbo, entre 0,400 e 0,500.

Os dez principais portos brasileiros no comércio exterior (avaliadas no ano 2012) em valor movimentado (em US\$ bilhões) foram: Santos (63,8), Vitória (23,9), Itaguaí (23,4), Paranaguá (18,5), São Luís (13,9), Rio Grande (12,3), Rio de Janeiro (8,8), Itajaí (7,9), Macaé (6,8) e São Francisco do Sul (5,2). Mesmo sendo os maiores portos brasileiros, esses terminais ainda sofrem com problemas de acesso, falta de pátios para caminhões, profundidade inadequada e necessidade de mais berços de atracação. Como exemplo, caminhoneiros que pretendem descarregar no maior porto brasileiro, Santos, chegam a ficar 24 horas parados na estrada por falta de pátios para estacionamento (Acesso a terminais é o maior problema nos 10 principais portos brasileiros – G1, 2013).

Vendramini (2012) avalia os 12 melhores portos públicos brasileiros em quesitos como possibilidade de expansão, quantidade de linhas férreas que acessam o porto, produtividade da infraestrutura portuária, quantidade de faixas de acesso rodoviário ao porto, dentre outros. As notas, dentro de uma escala de 1 a 10, sendo 1 a nota mínima e 10 a nota máxima, para os cinco melhores portos são: Santos, 7,61; Itaguaí, 5,68; Paranaguá, 4,18; Itajaí, 3,89 e Vitória, 3,73.

A região sul do Brasil conta com 11 portos, e no ano de 2015 foram movimentadas 84.554,559 toneladas de cargas, o que representa 13,38% da movimentação total brasileira (ANTAQ, 2016). Essa quantidade de toneladas movimentadas foi distribuída em 35,76% para o estado do Paraná, 31,56% para Santa Catarina e 32,68% para Rio Grande do Sul. Os terminais portuários da região são divididos entre públicos e privados, deles, 7 são públicos e 4 privadas.

² Xangai, Ningbo, Singapura, Hong Kong, Roterdã, Antuérpia, Hamburgo, Le Havre, Los Angeles e Nova York.

Dentre os 10 maiores movimentadores de contêineres do Brasil, a região Sul conta com 5 portos, o que representa 50% dos portos nacionais; 4 desses entre os 5 primeiros, representando uma importância significativa na movimentação desse tipo de carga no território nacional. Paranaguá foi o que mais movimentou, 8.858.782 de toneladas. Só a região Sul contribuiu com 32,66% de toda a movimentação brasileira, comprovando a significância da escolha dessa região para a continuidade deste trabalho.

Vista a definição de eficiência e os cenários portuários nacional e internacional, parte-se, na sequência, para a explicação do método para cálculo da eficiência utilizado neste trabalho.

3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA

A análise envoltória de dados – DEA é uma técnica de programação matemática baseada em programação linear desenvolvida inicialmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) com o objeto de analisar o desempenho, em termos de eficiência relativa, de diferentes unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units – DMU*), tendo como base um conjunto de recursos (*inputs*) e produtos (*outputs*).

Pode-se entender melhor olhando para um exemplo. Com a economia volátil em que vivemos, as empresas têm como principal objetivo maximizar o lucro (*output*) com o mínimo de investimentos possíveis (*input*). Selecionando 10 empresas do setor de energia elétrica brasileira, elas são chamadas de Unidades Tomadoras de Decisões (DMU), e toma-se como dados de entrada: Ativo Circulante e Ativo não Circulante, que são os dois tipos de investimento da empresa; e como output: Lucro no mês. O método faz a relação de cada eficiência individual entre todas as eficiências gerais, resultando em uma eficiência relativa para cada empresa analisada. Os resultados geram uma comparação entre empresas, por exemplo: embora a empresa 1 tenha um lucro menor, ela pode ser mais eficiente por ter um investimento menor, entre outros casos.

A avaliação de desempenho tem por objetivo refletir como dado sistema funciona e, para compreender os métodos de análise de desempenho, é necessário entender os fatores: produtividade, eficiência e eficácia. Além desses, é importante definir os fatores de escala e a fronteira de produção ligados à eficiência (SOUZA JÚNIOR, 2010). Os fatores de escala são

as respostas da produção ao aumento da quantidade de recursos (*inputs*), podendo ser divididos em constantes ou variáveis. Os fatores constantes indicam que a quantidade de recursos (*inputs*) aumentará ou diminuirá proporcionalmente à quantidade dos produtos (*outputs*).

A determinação da eficiência das unidades tomadoras de decisões (DMU), quando apresentam apenas um produto (*output*) ou fator de produção, é obtida através da relação entre as quantidades de produto (*output*)/recurso (*input*). Quando o processo envolve múltiplos produtos (*outputs*) e recursos (*inputs*), a obtenção da eficiência é mais complexa, e frequentemente utiliza métodos de fronteira de produção determinística ou estocástica, que medem a produtividade técnica de processos com múltiplos produtos (*outputs*) e recursos (*inputs*).

A medida de eficiência usualmente utilizada é uma razão entre a soma ponderada de *outputs* e *inputs* sujeitas às seguintes restrições:

Quadro 1 - Medida de eficiência

$EFICIÊNCIA_k = \frac{\sum_{j=1}^n W_{jk} OUTPUT_{jk}}{\sum_{i=1}^m V_{ik} INPUT_{ik}} \quad k = 1, \dots, N,$	(1)
<p><i>s.a.:</i></p> $\frac{\sum_{j=1}^n W_{jk} OUTPUT_{jk}}{\sum_{i=1}^m V_{ik} INPUT_{ik}} \quad k = 1, \dots, N,$	(1.1)
$V_{ik} \geq 0, \forall i$	(1.2)
$W_{jk} \geq 0, \forall j$	(1.3)

Fonte: Wang, Song e Culliname (2004).

Ao observar o quadro, podemos evidenciar que V_{ik} é o peso unitário do *input* i e W_{jk} é o peso unitário do *output* j para a unidade estudada k . Sob esta notação, há N unidades estudadas, m variáveis de *input* e n variáveis de *output*. Para cada unidade estudada, determina-se o conjunto de pesos que lhe dá maior eficiência possível. Na medida básica tradicional de eficiência, os pesos são supostos para serem uniformes através dos *inputs* e *outputs* para todas DMU.

Segundo Saha e Ravisankar (2000), o método DEA seleciona os pesos que maximizam o resultado da eficiência de cada DMU sob as circunstâncias de que nenhum peso seja negativo, que toda a DMU possa usar o mesmo jogo de pesos para avaliar sua própria relação da eficiência e que a resultante desta não exceda 1.

A característica chave dos modelos DEA é a de que os pesos são tratados como desconhecidos. Eles serão escolhidos de forma a maximizar a eficiência da unidade observada. A eficiência desta unidade será igual a um, caso a mesma seja eficiente em relação às outras unidades, e será menor do que um, se for ineficiente. Para uma DMU ineficiente, a solução identifica as unidades eficientes que servirão de referência àquela.

3.1 MODELOS

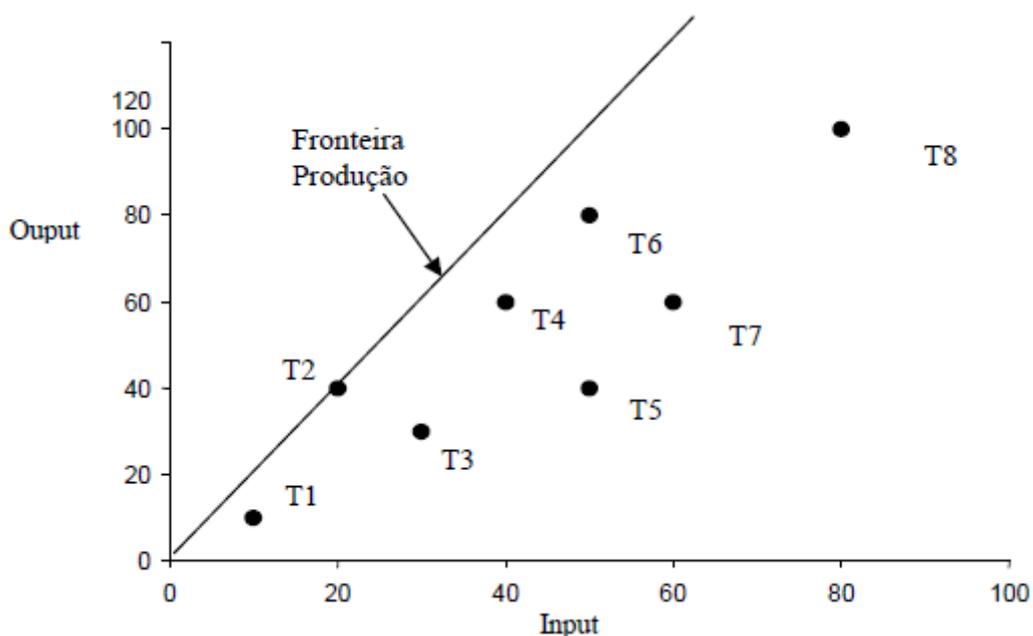
Há dois modelos clássicos do DEA, o modelo de *Constant Return to Scale* (CCR), que considera retornos de escala constantes; e o *Banker, Charnes e Cooper* (BCC), que considera retornos variáveis de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*.

3.1.1 Modelo CCR

O modelo CCR foi o modelo pioneiro em DEA (1978), operando com retornos constantes de escala. Este modelo 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, quando a unidade analisada tem eficiência relativa de 100%. Já o modelo BCC considera situações de eficiência de produção com variação de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*; ou seja, no CCR, se os *inputs* forem dobrados, os *outputs* dobram também (BEZERRA, 2015).

Devido ao modelo possuir retorno constante de escala, é possível verificar, na Figura , que os dados observados geram uma reta. A Figura representa o gráfico da razão entre dados de entrada (*input*) e dados de saída (*output*), os pontos no gráfico significam as DMU analisadas, nesse caso, 8 delas. A T2 está na fronteira de produção, sendo uma DMU eficiente. Enquanto as demais, em comparação à T2, são ineficientes.

Figura 2 - Fronteira de produção do modelo CCR



Fonte: Wang, Song e Culliname (2004).

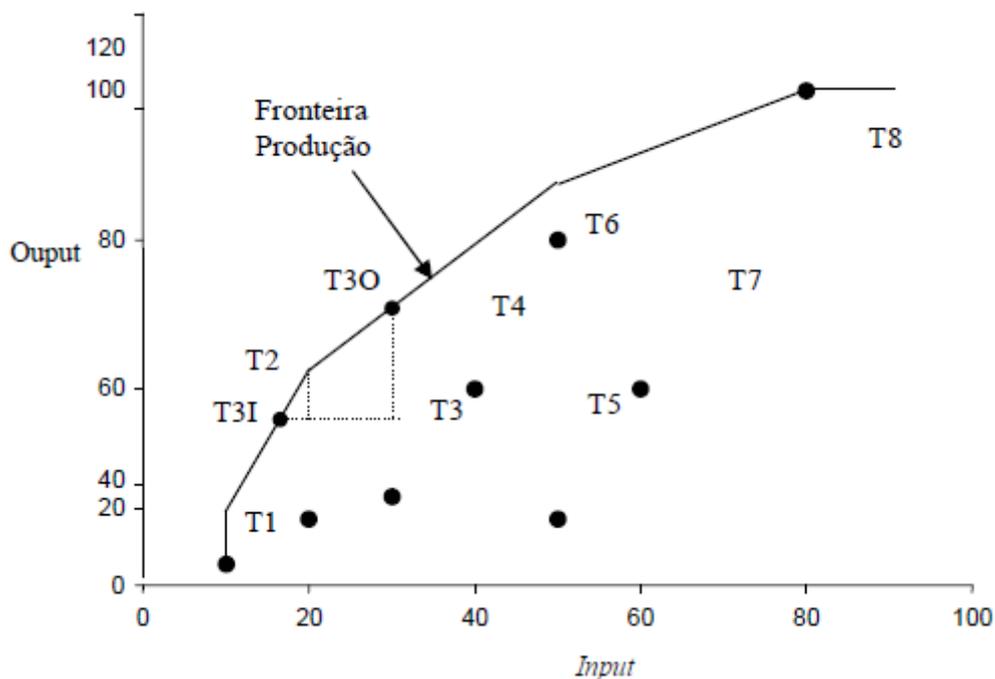
3.1.2 Modelo BCC

Proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984), o modelo BCC, também conhecido como *Variable Return Scale* (VRS), pressupõe que as DMU avaliadas apresentem retornos variáveis de escala. O modelo determina uma fronteira VRS que considera retornos crescentes ou decrescentes de escala na fronteira eficiente. Considera que um acréscimo no *input* poderá promover um acréscimo no *output*, não necessariamente proporcional, ou até mesmo um decréscimo.

A principal característica do modelo BCC, nada mais é do que o modelo CCR incorporando a possibilidade de retornos variáveis de escala, ou seja, o modelo BCC explicita uma fronteira de eficiência que admite retornos variáveis de escala. Pelo fato de assumir retorno variável de escala, o que antes era uma reta, modifica-se para um cone convexo. Na Figura 2, T1, T2 e T8 estão na fronteira de produção e são considerados eficientes, já as outras DMU, as que não estão sobre a linha, são consideradas ineficientes. Um exemplo de melhoria da eficiência é notável nos pontos T3I e T3O que, no cálculo da eficiência relativa, a DMU T3 não possui eficiência máxima, mas caso siga as orientações, voltando-se para o *input* (diminuir o *input* para continuar produzindo a mesma quantidade de *output*), ela atinge a fronteira e, assim, 100% de eficiência. O mesmo processo pode ser feito com

orientação ao *output* que, com um mesmo *input* é possível aumentar o *output*, atingindo a fronteira de eficiência máxima.

Figura 2 - Fronteira de produção do modelo BCC



Fonte: Wang, Song e Culliname (2004).

Segundo Paiva (2000), algumas diferenças fundamentais entre os dois modelos incluem a superfície de envelopamento e o tipo de projeção do plano ineficiente à fronteira. Trabalhando com diferentes retornos de escala, geram fronteiras diferentes e valores de eficiência relativa. Ambos os modelos podem ser orientados para insumos ou produtos. No primeiro modelo, a maior redução equi-proporcional do consumo para a produção é observada; já para o segundo modelo, as projeções dos planos observados sobre a fronteira buscam o máximo aumento equi-proporcional de produção.

3.1 O MÉTODO DEA NO SETOR PORTUÁRIO

No setor portuário, o método DEA, apesar de já ter sido utilizado, ainda não é muito explorado, possuindo poucos estudos no âmbito nacional. Roll e Hayuth (1993) foram os pioneiros a utilizarem o DEA em portos, mostrando como esta técnica poderia ser usada com dados operacionais disponíveis no setor. Esse primeiro estudo foi feito utilizando dados hipotéticos para vinte DMU, com o objetivo de demonstrar como suas eficiências poderiam

ser mensuradas e otimizadas. Nesse estudo, os dados de entrada (*inputs*) foram: nível de serviço, movimentação de carga, satisfação do usuário e número de atracções; e os dados de saída (*output*) foram: total do capital investido, número de funcionários e tipos de carga. Quatro dos vinte portos atingiram eficiência de 100%.

Em estudo mais recente, Culliname *et al.* (2004), utilizaram a técnica de DEA nos modelos CCR e BCC para medir a eficiência de 25 dos 30 maiores terminais de contêineres do mundo, no período de 1992 até 1999. Como *inputs*, os autores utilizaram o tamanho total do berço, área do terminal, número de guindastes de berço, número de *straddle carriers*³, e o número de guindastes de pátio. O único *output* foi o número de TEU movimentados. Com o CCR, os portos de Keelung, Nagoya, Colombo, Los Angeles e Kaohsiung foram os que obtiveram maior eficiência; e no modelo BCC, além dos citados anteriormente, também se destacaram os portos de Tanjung Priok, New York, Singapura e Hong Kong.

No mesmo ano (2004), Turner, Windle e Dresner, como Culliname *et al.*, mediram a eficiência dos vinte e seis maiores terminais de contêineres da América do Norte (Estados Unidos e Canadá) no período de 13 anos. Os *inputs* selecionados foram: a área do terminal, o número de guindastes e tamanho do berço; já o único *output* foi o número de TEU movimentado. Os portos foram divididos em três grupos, separados por região. Com os resultados obtidos, observou-se que os terminais da Costa do Golfo tiveram um crescimento significativo entre os anos de 1992 a 1997; os terminais da Costa Oeste tiveram pequeno crescimento durante todo o período de estudo; e o terceiro grupo, da Costa Leste, não obteve crescimento nos primeiros nove anos de estudo, mas nos últimos quatro anos, apresentou um leve crescimento. Duas informações importantes a serem retiradas desse estudo: os autores utilizaram outro *output*, toneladas movimentadas, que apresentou uma alta correlação com o número de TEU movimentado; assim, utilizou-se apenas o número de TEU movimentado e, após encontrado o resultado, utilizaram a eficiência relativa obtida como variável na Regressão Tobit, mostrando que entre as variáveis de entrada e saída, o tamanho do terminal tem alta relação com sua eficiência.

Segue o Quadro 2, que sintetiza a fundamentação teórica e apresenta os estudos que utilizaram o método DEA aplicados ao setor portuário. É possível notar que a minoria

³ Equipamento utilizado por alguns terminais para movimentar um contêiner no pátio.

desse estudos foi realizada no Brasil, o que, infelizmente, demonstra a escassa utilização desse método para o setor.

Quadro 2 - Resumo dos Estudos no Setor Portuário

Autores	Modelo	País
ROLL; HAYUTH (1993)	CCR	-
MARTINEZ - BUDRIA <i>et al.</i> (1999)	BCC	Espanha
TONGZON (2001)	CCR	Mundo
VALENTINE; GRAY (2001)	CCR	Mundo
ITOH (2002)	CCR e BCC	Japão
SERRANO; CASTELLANO (2003)	BCC	Espanha
TURNER; WINDLE; DRESNER (2004)	-	EUA e Canadá
CULLINAME <i>et al.</i> (2004)	CCR e BCC	Mundo
RIOS (2005)	CCR e BCC	Mercosul
WANKE (2016)	BCC	Brasil

Fonte: Adaptado de Wang, Song e Culliname (2004).

O presente trabalho possui semelhança com o de Serrano e Castellano (2003) pelo fato de considerar a mesma variável de saída (*output*); no caso, a quantidade de carga movimentada (em toneladas), e os 3 dados de entrada (*input*) acrescidos de outras variáveis consideradas importantes para o estudo (calado e número de berços). Possui semelhança também no modelo DEA escolhido para o método utilizado no estudo em questão.

4 ESTUDO DE CASO

Este tópico compreende a construção do modelo considerando os primeiros levantamentos sobre os portos a serem utilizados no estudo, bem como as variáveis selecionadas através de revisões da literatura e de contatos efetuados com terminais portuários parceiros do estudo.

4.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS SELECIONADAS

Para definir com precisão as variáveis mais significativas para a modelagem do estudo buscou-se, na literatura, trabalhos com temas similares ao cálculo da eficiência portuária que utilizaram, ou não, o método DEA. Após a varredura, foi possível identificar os *inputs* e *outputs* utilizados por diversos autores (TONGZON, 2001; ITOH, 2002; BARROS; MANAGI, 2008; NIGRA, 2010; JÚNIOR, 2010; WANKE, 2002; CULLINAME *et al.*, 2004):

Quadro 3 – Variáveis utilizadas em trabalhos acadêmicos sobre eficiência portuária

Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.10, Edição Especial 1, Abril 2017.

Inputs	Outputs
Número de guindastes	Movimentação em TEU
Número de berços	Movimentação h/navio
Número de rebocadores	Movimentação em toneladas
Número de funcionários	Quantidade de navios atendidos
Área do terminal	
Tempo de espera	
Extensão de berços	
Número de guias	
Calado	
Capacidade Estática (TEU)	
Número de gates	

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Percebe-se, ao analisar o Quadro 3, que diferentes fatores foram considerados nos campos *inputs* e *outputs* nas análises realizadas até então, pois portos são provedores de diferentes atividades de serviço. Conclui-se, portanto, que a medida da eficiência do porto não pode ser atribuída, ao todo, apenas com base em um indicador único. Múltiplos *inputs* e *outputs* devem ser avaliados para que se obtenha uma eficiência portuária que possa ser atribuída às diferentes atividades desenvolvidas pelo porto.

Com o intuito de definir as variáveis mais significantes, também a partir da visão de gestores portuários, realizou-se uma enquete, a qual foi compartilhada entre profissionais brasileiros da área. Nela, foram listadas as variáveis encontradas na literatura e solicitado, para os respondentes, que definissem com pesos de 1 a 5 (1 como pouco relevante e 5 muito relevante), sobre a importância da variável em questão para a operação portuária. Posteriormente, foi realizado o cruzamento de informações entre a varredura do referencial bibliográfico e as considerações dos gestores, encontrando variáveis em comum, as quais serão utilizadas para continuidade deste trabalho. São elas:

Quadro 4 – Dados de entrada e saída para o estudo

Dados de entrada	Dados de saída
Número de berços	Movimentação de carga em toneladas
Quantidade de Portêineres	
Calado	
Área total de armazenagem	
Extensão do cais	

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

4.2 PORTOS SELECIONADOS PARA O ESTUDO

No presente trabalho serão analisados 6 portos da região Sul que, como comentado anteriormente, dos 10 maiores portos de navios em movimentação de contêiner, 5 estão nessa região, demonstrando sua importância para o comércio brasileiro. Os portos selecionados compreendem 4 de Santa Catarina, são eles: TECON Imbituba, TUP Porto de Itapoá, Porto de Navegantes (Portonave) e APM Itajaí. Um do Paraná e um do Rio Grande do Sul: TECON Paranaguá e TECON Rio Grande, respectivamente.

Quadro 5 – Infraestrutura dos Portos

	Imbituba	Itapoá
Calado [m]	12,5	16
Equipamentos	2	6
Quantidade de Berços	2	2
Área Total [m ²]	207	146
Extensão do cais [m]	660	630
Carga Movimentada [t]	430.552	6.060.502
	Portonave	APM Itajaí
Calado [m]	14	14
Equipamentos	6	2
Quantidade de Berços	3	2
Área Total [m ²]	360	75
Extensão do cais [m]	900	535
Carga Movimentada [t]	7.585.704	2.664.292
	Paranaguá	Rio Grande
Calado [m]	12	12,5
Equipamentos	3	6
Quantidade de Berços	3	3
Área Total [m ²]	303	830
Extensão do cais [m]	879	900
Carga Movimentada [t]	8.858.782	7.348.032

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

No Quadro 5 estão os portos selecionados para a análise, juntamente com os valores dos parâmetros obtidos. Tais dados serão considerados para a modelagem do problema, e posteriormente será resolvido no software *Frontier Analyst* para obter as eficiências relativas.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os valores das eficiências relativas obtidas com a aplicação dos dois modelos clássicos do método DEA (CCR e BCC) nos portos da região Sul. Além disso, nesta seção, também é realizada a análise dos resultados.

5.1 RESULTADO DO MODELO CCR ORIENTADO AOS *OUTPUTS*

O cálculo da eficiência foi orientado aos *outputs* baseado no fato de que os portos não pretendem diminuir sua área de armazenamento, nem diminuir o calado do berço de atracação, sendo valores já pré-estabelecidos. Portanto, com a infraestrutura existente de cada porto, pretende-se encontrar o valor ideal da quantidade de carga movimentada trabalhando com retornos constantes de escala. Esse modelo é utilizado para calcular a eficiência produtiva.

Foram encontradas duas DMU eficientes (Porto de Itapoá e TECON Paranaguá) e quatro ineficientes (APM Itajaí, Imbituba, Portonave, TECON Rio Grande).

Tabela 1 – Tabela de eficiência CCR

DMUs	Eficiência	Condição
APM Itajaí	99,10%	?
TECON Imbituba	7,3%	?
Porto de Itapoá	100,00%	?
TECON Paranaguá	100,00%	?
Portonave	85,20%	?
TECON Rio Grande	82,80%	?

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Analisando as DMU que não obtiveram eficiência máxima, fazendo uma comparação com as DMU eficientes pelo Benchmarking (Itapoá e TECON Paranaguá), foi possível obter os valores ideais da quantidade de movimentação de carga em cada porto para conseguir alcançar a fronteira de produção orientada ao *output*.

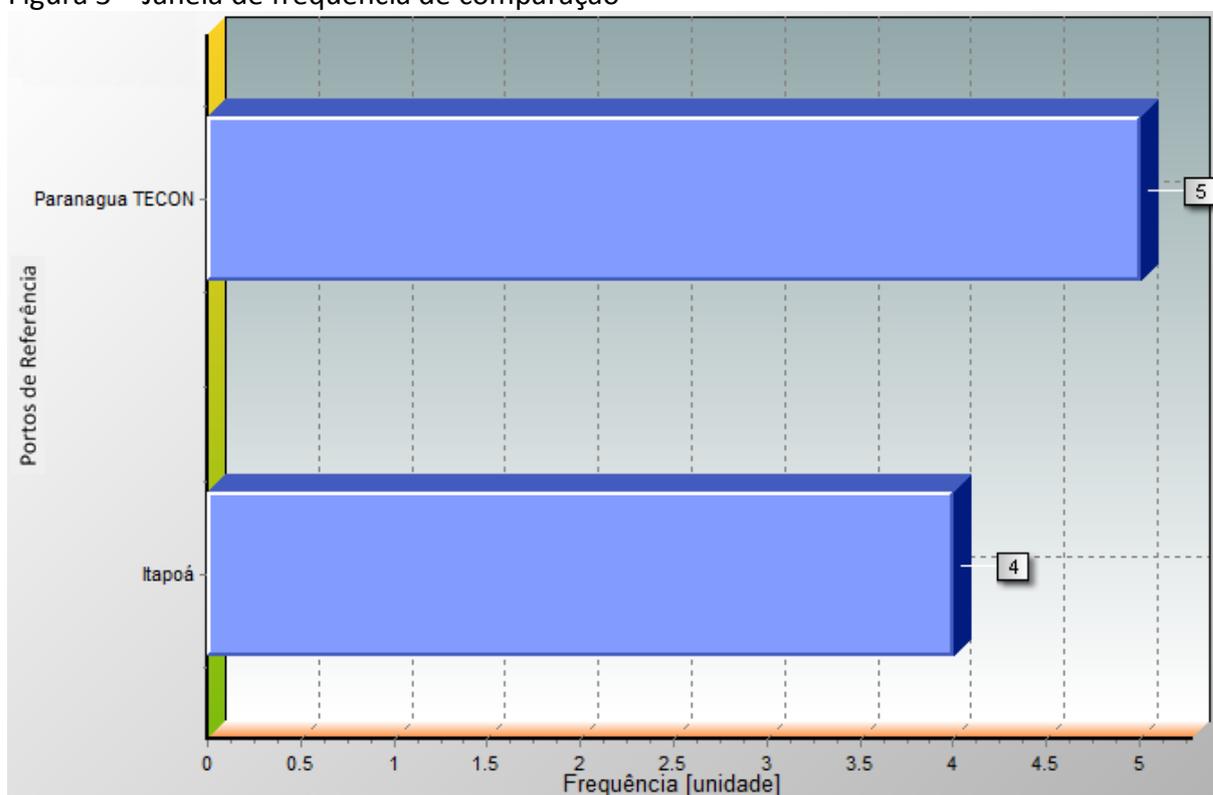
Tabela 2 – Potenciais melhorias com o modelo CCR

DMU	Atual (t)	Desejada (t)	Varição
APM Itajaí	2.664.292	2.687.491	0,87%
TECON Imbituba	430.552	5.905.854	1372%
Portonave	7.585.704	8.905.176	17,39%
TECON Rio Grande	7.348.032	8.877.339	20,81%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Analisando a Tabela 2 é possível notar que o porto de Imbituba é nitidamente o menos eficiente entre todos em estudo, necessitando aumentar em mais que 1372% sua movimentação de carga, demonstrando, assim, uma superestrutura portuária muito mal utilizada. Se comparar o TECON Imbituba com a APM Itajaí, pelo fato de possuírem estrutura operacional próximas, a APM Itajaí movimenta 6 vezes mais que o porto de Imbituba, demonstrando que ,com a mesma estrutura, é possível movimentar quantidades de carga muito mais significativas, tornando Imbituba um porto ineficiente visto por esse aspecto.

Figura 3 – Janela de frequência de comparação



Fonte: *Software Frontier Analyst* (2016).

Quanto mais vezes a unidade for utilizada como referência para o *Benchmarking*, mais provável que ela seja uma unidade com ótimo desempenho operacional. Unidades que não forem utilizadas como base para comparação, ou não possuem valores altos de eficiência, ou possuem combinações incomuns de *inputs* e *outputs*, não sendo susceptíveis a oferecerem as melhores práticas operacionais para unidades ineficientes. As unidades que mais aparecem como comparadoras são chamadas de *Líderes Globais*, que fornecem exemplo de boas práticas operacionais a demais unidades. Analisando a Figura 3 é possível

notar que apenas TECON Paranaguá e Porto de Itapoá foram utilizados como referência para as demais unidades não eficientes nesse modelo.

5.2 RESULTADO DO MODELO BCC ORIENTADO AOS *OUTPUTS*

Assim como calculado anteriormente, com orientação aos *outputs*, para o modelo BCC não será diferente. Com o mesmo objetivo de produzir mais com os *inputs* utilizados, agora utilizando retornos variáveis de escala, sendo esse modelo utilizado para calcular a eficiência técnica.

Tabela 3 – Tabela de eficiência BCC

DMU	Eficiência	Condição
APM Itajaí	100,00%	?
Imbituba	100,00%	?
Itapoá	100,00%	?
TECON Paranaguá	100,00%	?
Portonave	85,60%	?
TECON Rio Grande	82,90%	?

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Como feito no modelo CCR, repete-se para o BCC a aplicação do *Benchmarking*, comparando TECON Paranaguá, considerando-o como o líder global que fornece um exemplo de boas práticas operacionais, com Portonave e TECON Rio Grande orientados aos *outputs*. Para atingirem a fronteira de produção, estes portos precisam aumentar sua quantidade de carga movimentada (em toneladas) na proporção mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Potenciais melhorias com o modelo BCC

DMU	Atual (t)	Desejada (t)	Varição
Portonave	7.585.704	8.858.782	16,78%
TECON Rio Grande	7.348.032	8.858.782	20,56%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Analisando, ainda, o modelo em questão, é possível obter a correlação entre as variáveis de entrada com a variável de saída, observando quais parâmetros possuem maior peso para o cálculo da eficiência relativa. Visto isso, seguem as respectivas correlações, onde o número mais próximo de 1 representa alta correlação; e valor negativo, correlação negativa.

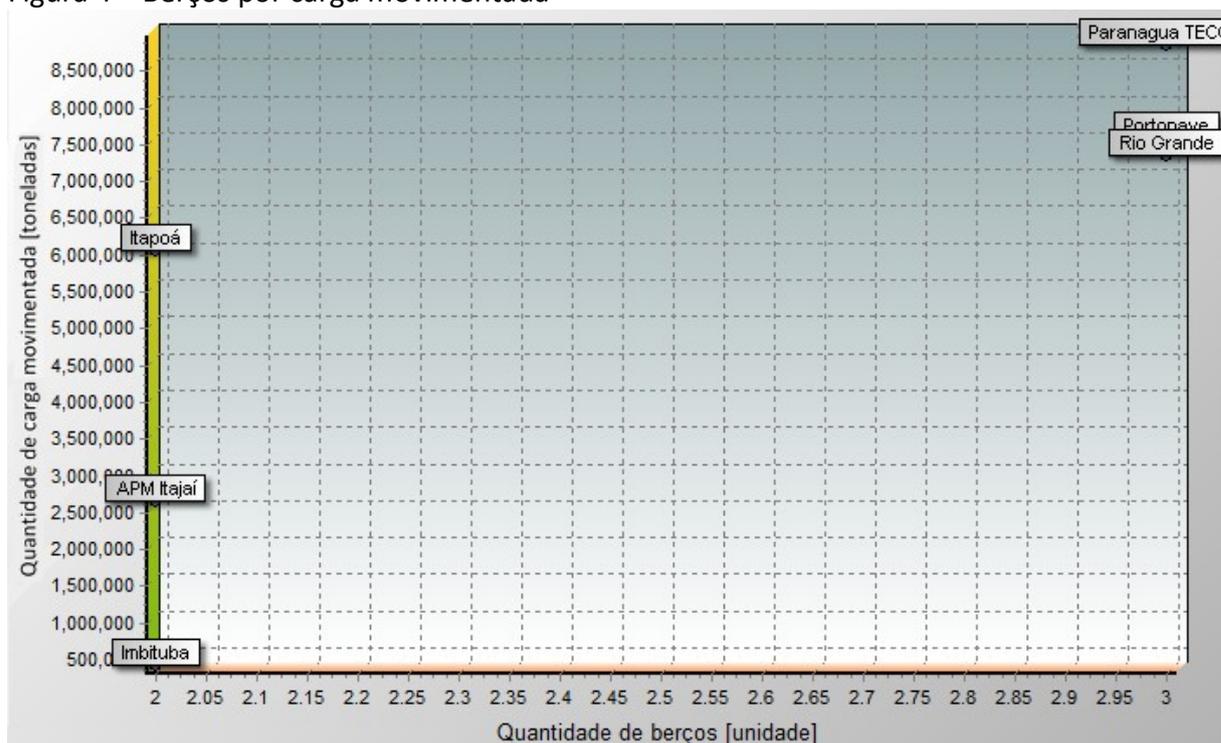
Tabela 5 – Correlação entre *inputs* e *output*

	Carga Movimentada
Quantidade de berços (un.)	0,93
Extensão dos berços (m)	0,77
Equipamentos (un.)	0,64
Área total (m ²)	0,49
Calado (m)	-0,10

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Observando a Tabela 5, nota-se que o parâmetro que tem maior influência sobre a quantidade de carga movimentada é a quantidade de berços. Já o calado tem correlação negativa; ou seja, este parâmetro relacionado com os demais para o cálculo da quantidade de carga movimentada em toneladas não influenciaria no resultado final da eficiência relativa calculada.

Figura 4 – Berços por carga movimentada



Fonte: Software Frontier Analyst (2016).

A partir dos valores obtidos na correlação entre *inputs* e *outputs*, e analisando a Tabela 5, o item que teve maior correlação com a quantidade de carga movimentada (em toneladas) foi a quantidade de berços. Observando a

Figura 4, percebe-se que os terminais que têm maior número de berços são os que mais movimentam cargas. Isto ocorre pelo fato de que, com maior vaga para atracação, mais navios podem ser atendidos e mais cargas movimentadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho mensurou e analisou a eficiência operacional dos terminais da região Sul do Brasil utilizando o método DEA, que é uma técnica matemática que analisa a eficiência relativa a partir de uma série de *inputs* e *outputs*. Pode-se perceber que é uma metodologia eficiente, que auxilia no planejamento e na tomada de decisão, encontrando não apenas a eficiência da unidade analisada, também indica onde e o que pode ser otimizado, melhorando a operação.

Decidiu-se utilizar os dois modelos de DEA, devido a ambos serem encontrados na literatura. Entretanto, como o BCC trata retornos variáveis de escala, torna-se mais apropriado no quesito de terminais portuários, pelo fato que um porto de pequeno porte é analisado a partir do mesmo modelo que um de grande porte.

Como visto no capítulo 4 ESTUDO DE CASO, tanto para o CCR quanto para o BCC, o Porto de Itapoá e o TECON Paranaguá tiveram eficiência relativa máxima, diferente dos outros terminais, que tiveram eficiência máximo no modelo BCC. Isto não se repetiu no modelo CCR, como o caso da APM Itajaí e o Porto de Imbituba. A razão para isso fato é que, que no modelo CCR, com retorno constante de escala, ele não leva a dimensão do porto em consideração, atingindo uma eficiência extremamente baixa; e no modelo BCC, não ocorre devido ao fato de levar em consideração a dimensão do porto.

Já a Portonave e TECON Rio Grande tiveram eficiências relativas altas e relativamente parecidas nos dois modelos, demonstrando a estabilidade do porto. O fato do porto de Imbituba passar de 7,3% para 100% comporta-se pelo fato que, com o modelo de retorno constante de escala, a estrutura atual do porto está sendo subutilizada, e poderia produzir muito além do que produz. Entretanto, se visto por retorno variável de escala, pelo fato de possuir menor estrutura operacional, o que foi produzido está dentro da fronteira de produção.

Segue a Tabela 6, com as respectivas eficiências relativas das DMU para os dois modelos estudados.

Tabela 6 – Eficiência relativa pelo BCC e CCR

DMUs	CCR	BCC
------	-----	-----

APM Itajaí	99,10%	100,00%
Imbituba	7,3%	100,00%
Itapoá	100,00%	100,00%
TECON Paranaguá	100,00%	100,00%
Portonave	85,20%	85,60%
TECON Rio Grande	82,80%	82,90%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

No Brasil, os terminais portuários movimentadores de contêineres são classificados em três categorias, pequeno, médio e grande porte. Os terminais com movimentação superiores a 250 mil TEU (aproximadamente 2,75 milhões de toneladas) são considerados grandes, terminais com movimentação entre 100 e 250 mil TEU (entre 1,1 e 2,75 milhões) são considerados de médio porte, e aqueles com movimentações inferiores a 100 mil TEU (1,1 milhões) são considerados de pequeno porte.

Dentro dessa classificação, na região Sul, cinco terminais são considerados grandes e um pequeno. Analisando a Tabela 6, a estabilidade da eficiência relativa nos dois modelos, foram próximas para os terminais de grande porte, diferente do terminal de pequeno porte (Imbituba), que teve uma enorme variação, pelo fato de que em um modelo foi considerada sua categoria, e em outro, não.

O estudo e a aplicação do método DEA no setor portuário brasileiro ainda é relativamente baixo, se comparado ao nível mundial. Os maiores números de estudos foram realizados nos países desenvolvidos e nos que fazem parte do BRICS. Sendo assim, recomenda-se, como expansão deste estudo, aumentar o número de DMU estudadas e inserir novos *inputs* e *outputs* no modelo. Algumas limitações do modelo devem-se ao fato de que alguns resultados não podem ser colocados em prática, pois algumas metas estabelecidas após o *Benchmarking* não podem ser atingidas. Como por exemplo, se o terminal possui três berços de atracação e a meta estabelecida é a utilização de dois berços, não possibilidade de o terminal não utilizar a estrutura já existente.

A presente iniciação científica foi de extrema importância para o aprendizado e a inserção no setor portuário. Com a iniciação as oportunidades no mercado de trabalho foram abertas, através do artigo foi possível fazer contato com empresas e profissionais da

área, possibilitando conseguir um estágio em que foi possível aplicar os conhecimentos aprendidos durante o desenvolvimento do estudo.

Outra grande oportunidade que a iniciação científica possibilita poder é a possibilidade de apresentar o artigo em congressos nacionais e internacionais, no Brasil e no exterior. Este projeto possibilitou essa oportunidade, sendo aceito em dois congressos. Além de todas essas oportunidades de aprender e conhecer profissionais da área, a iniciação científica no currículo é um grande diferencial para o ingresso no mercado de trabalho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Anuário estatístico aquaviário**. Disponível em:

<<http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2013/index.htm>>. Acesso em: 20 mai. 2016. (2013).

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, pp. 1078-1092, 1984.

BARROS, C. P.; MANAGI S. **Productivity drivers in Japanese ports**. School of Economics and Management, Technical University of Lisbon, Lisboa, 2008.

BEZERRA, P. R. C. Modelagem DEA: teoria e aplicações na indústria do petróleo. **Revista ADMpg Gestão Estratégica**, Ponta Grossa, v. 8, n. 2, p. 139-146, 2015.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operation Research**, v. 2, p. 429-444.

CLARK, X; DOLLAR, D; MICCO, A. **Maritime Transporte Cost and Port Efficiency**. The World Bank, development research group, 2002.

COSTA, C. **10 Maiores Portos do Mundo** (2015) Disponível em:

<<http://jornalcanal16.com.br/site/pt/pt/10-maiores-portos-do-mundo/>>. Acesso em: 10 jun 2016.

CULLINANE, K.; SONG, D. W.; PING, J.; WANG, T. F. An application of DEA windows analysis to container port production efficiency. **Review of network economics**, v. 3, p. 184-206, 2004.

GLOBO.COM, Rede Notícia Acesso a terminais é maior problema nos 10 principais portos brasileiros. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2013/06/acesso-terminais-e-maior-problema-nos-10-principais-portos-brasileiros.html>>. Acesso em: 8 dez. 2016.

ITOH, H. Efficiency changes at major container ports in Japan: A window application of DEA. **Ruds**, v. 14, n. 2, p. 133-152. Universidade de Tsukuba, Japão, 2002.

JÚNIOR, S. J. N. C. **Avaliação da eficiência dos portos utilizando Análise Envoltória de Dados**: Estudo de Caso dos portos da região Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MERK, O.; T. DANG. Efficiency of World Ports in Container and Bulk Cargo (oil, coal, ores and grain), **OECD Regional Development Working Papers**, n. 9, 2012, Publishing OECD, Paris, 2012.

OLIVEIRA, C. T. **Dez principais portos do mundo**. Registros e fatos pitorescos. São Paulo: Aduaneiras, 2003.

PAIVA, F. C. **Eficiência produtiva de programas de ensino de pós-graduação em engenharias**: uma aplicação do método DEA. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2000.

PEARSON, K. **Data Envelopment Analysis**: an explanation. Working paper n. 82, Bureau of Industry Economics. Canberra, 1993.

REINALDO, R. R. P. **Avaliando a eficiência em unidades de ensino fundamental de Fortaleza-CE**: usando a análise envoltória de dados (DEA). 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

RIOS, L. R. **Medindo a eficiência relativa das operações dos terminais de contêineres do mercosul**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. G. Analysing the relative efficiency of container terminals of Mercosur using DEA. **Maritime Economics and Logistics**, v. 8, n. 4, p. 331-346. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ROLL, Y.; HAYUTH, Y. Port performance comparison applying DEA. **Maritime Policy and Management**, v. 20, n.2, p. 153-161, 1993.

SAHA, A.; RAVISANKAR, T. S. Rating of Indian commercial banks: a DEA approach. **European Journal of Operational Research**, v. 124, n.1, p. 187-203, 2000.

SERRANO, M. G./ CASTELLANO, L. T. **Analisis de la eiciencia de los servicios de infraestructura en Espana**: Uma aplicación al tráfico de contenedores. X Encuentro de Economía Pública, Santa Crus de Tenerife, 2003.

SOUZA JÚNIOR, J. N. C. **Avaliação da eficiência dos portos utilizando Análise Envoltória de Dados**: Estudo de Caso dos portos da região Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

STEFANO, M. O. N. **Efficiency of the seaport Sector**: application of non-parametric techniques. Disponível em:

<<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142112150/Resumo.pdf>> Acesso em: 10 set. 2016.

TONGZON, J. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. **Transportation Research Part A**, v. 35, n. 2, p. 107-122, 2001.

TURNER, H.; WINDLE, R.; DRESNER, M. North American container port productivity: 1984-1997. **Transportation Research Part E**, v. 40, p. 339-356, 2004.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). **Review of maritime transport**. (2013). Disponível em:
<http://unctad.org/en/publicationslibrary/rmt2013_en.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2016.

VALENTINE, V. F.; GRAY, R. **The measurement of port efficiency using data envelopment analysis**. 9th World Conference on Transport Research, Seoul, 2001.

VENDRAMINI, M. AECOM. **Ranking aponta os melhores portos do Brasil**. (2012) Disponível em: <http://issuu.com/exame/docs/estudo_portos_brasil>. Acesso em: 07 mai. 2016.

WANG, T. F.; SONG, D. W.; CULLINAME, K. **The applicability of DEA to efficiency measurement of container ports**. Disponível em: <<http://eclac.cl>> Acesso em: 10 mai. 2016.

WANKE, P. **New Evidence on the Determinants of Efficiency at Brazilian ports: a Bootstrapped DEA Analysis**. COPPEAD Graduate Business School, Federal University of Rio de Janeiro, 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Competitiveness Report 2014-2015**. 2014. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2014-15.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2016.