



Patrícia Belfiore Fávero^(a)

(a) Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil/ pbfavero@usp.br

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PORTOS SECOS BRASILEIROS UTILIZANDO DEA

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo medir e avaliar o desempenho de terminais de contêineres dentro dos portos secos brasileiros, situados fora da zona primária (engloba os portos marítimos e aeroportos), por meio da técnica de Análise Envolvória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA). O desempenho operacional dos portos secos é medido por meio de dados obtidos de recursos empregados e movimentação de contêineres no ano de 2009. As eficiências são determinadas por meio do modelo DEA, com aplicação do método BCC orientado às saídas (outputs), com intuito de maximizar a eficiência dos recursos empregados. A partir dos resultados obtidos, os terminais são ranqueados pela sua atratividade operacional. Pela análise padrão, sete terminais apresentaram 100% de eficiência. Para desempatar estas unidades, uma segunda análise baseada no modelo de eficiência normalizada foi efetuada, resultando em apenas uma DMU (Decision Making Units) com 100% de eficiência. Assim, por meio dessas duas simulações, foi possível elencar e visualizar os índices de produtividade dos terminais nos anos de 2009.

Palavras-chave. Portos secos. Terminal de contêineres. Análise envoltória de dados.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF BRAZILIAN DRY PORTS USING DEA

ABSTRACT

This paper aims to measure and evaluate the performance of container terminals within the Brazilian dry ports, which are located outside the primary zone (area which includes the seaports and airports), using data envelopment analysis - DEA. The performance of dry ports is measured through data obtained from resources used and the movement of containers in 2009. The efficiencies is identified by the DEA model, with application of the BCC method oriented to outputs, in order to maximize the efficiency of the resources used. From these results, the terminals are ranked by their operational attractiveness. The results showed that seven terminals presented a 100% efficiency rate. To tie these unities, a second analysis based on an efficiency standardized model was applied, resulting in a single DMU ((Decision Making Units) with total efficiency. So, through these two simulations, it was possible to list and view the terminal productivity rates in 2009.

Keywords. Dry ports. Container terminal. Data envelopment analysis.

1. Introdução

Rocha (2003) define portos secos como sendo terminais de carga onde há a possibilidade de obtenção de benefícios fiscais, destinado tanto para exportação quanto para importação, possibilitando uma série de outras atividades regulamentadas pela Aduana. Os portos secos devem conter terminais rodoviários e/ou ferroviários que recebem mercadorias em *contêineres* ou carga solta, como forma de interligação entre áreas portuárias (marítimo, fluvial ou aérea) com regiões de consumo e/ou produção. Para Jarzemskis e Vasiliauskas (2007), um porto seco está situado no interior de uma região industrial ou comercial, ligado com um ou vários sistemas portuários, ferroviários e/ou rodoviário e oferece serviços especializados.

Conceitualmente, o propósito da existência dos portos secos é o de estimular o comércio internacional através da flexibilização das normas que regem o comércio de importação e exportação. São estabelecidos para atuarem como mediadores e facilitadores do desembarço aduaneiro, atuando na criação de polos regionalizados de desenvolvimento, os chamados '*clusters*', exercendo a função de elemento logístico integrante da cadeia de distribuição final de cargas aos clientes. Ainda podem ser uma opção de industrialização alfandegada para as pequenas e médias empresas.

Sucintamente, são os recintos alfandegados que podem oferecer a possibilidade de obtenção de benefícios fiscais na liberação, armazenagem, manuseio, montagens de *kits*, industrialização e outras atividades afins, todas reguladas pela Aduana de cada país.

Segundo Araújo (1983) e Vis e Koster (2003), terminais intermodais de *contêineres* se caracterizam por estruturas equipadas e projetadas propiciando velocidade, segurança e confiabilidade nas operações de carregamento, descarregamento, armazenagem e distribuição de carga. Outra face central do terminal é a busca pela redução do tempo de permanência dos caminhões.

Contudo, mesmo com terminais modernos, projetados e dimensionados para se tornar competitivos, o tema referente ao desempenho operacional das atividades desenvolvidas tem fator relevante.

A orientação contínua por uma melhor eficiência nas operações de um terminal, assim como a resposta rápida pela agilidade e a eficácia das decisões tomadas durante o processo operacional são primordiais para diminuir o tempo de permanência dos veículos, eliminar a

ociosidade dos recursos físicos, de investimento e humanos, e para abstrair a máxima capacidade instalada de movimentações.

O objetivo geral proposto do presente estudo consiste em realizar um levantamento para medir e entender as variações de desempenho dos portos secos brasileiros, através da eficiência operacional em termos de *contêineres* movimentados anualmente, levando-se em conta os recursos diretos aplicados nas movimentações de entrada e saída dos *contêineres*.

Como objetivos específicos, têm-se:

- a) elencar, com base nos modelos operacionais, as variáveis de *inputs* e *outputs* representativas da movimentação dos *contêineres*, bem como os fatores que podem interferir na eficiência operacional do terminal;
- b) avaliar a eficiência dos terminais por meio de um modelo DEA, com aplicação do modelo BCC orientado às saídas (*outputs*);
- c) classificar os terminais pela sua atratividade operacional, utilizando o método de análise padrão e eficiência normalizada.

O modelo do estudo proposto tem por finalidade construir um modelo operacional de avaliação da eficiência das movimentações de *contêineres*, e avaliar o balanceamento dos recursos empregado com o nível de movimentação do terminal.

Por meio da técnica DEA, é possível identificar os terminais eficientes, que compõem a fronteira de eficiência e servem de *benchmark* para as ineficientes, que por sua vez buscam maximizar suas eficiências por meio de alvos e metas relativos à fronteira determinada.

A organização do trabalho está detalhada a seguir. Na seção 2 descreve-se como avaliar o desempenho operacional dos portos secos e a aplicação da técnica DEA para esse objetivo. As aplicações da técnica DEA em portos secos são descritas na seção 3. A descrição do modelo proposto encontra-se na seção 4. A seção 5 descreve a aplicação empírica e os resultados estão detalhados na seção 6. As considerações finais estão na seção 7.

2. Desempenho Operacional de Portos Secos e Análise Envoltória de Dados

Segundo Rodrigues, Nuno e Raggiotti (2004), o desempenho está centrado no funcionamento de um equipamento, de uma máquina, de um projeto ou de um processo, com relação a características pré-determinadas, que

podem ser consideradas velocidade, consumo de combustível, estabilidade, produção, dentre outras. Assim, o desempenho operacional mede a produtividade do terminal, isto é, a capacidade instalada de recursos para movimentar eficientemente as unidades em um determinado espaço de tempo coerente.

Para avaliar o desempenho operacional de um terminal, de forma a obter uma gestão eficiente de todos os processos, especialmente o planejamento e o controle organizacional, é necessário o emprego de uma ou mais ferramentas para decodificar as informações, estabelecendo assim métricas tangíveis.

Estabelecidas essas métricas, o processo de tomada de decisões e determinações estratégicas se torna mais ágil e preciso. Ao analisar os resultados operacionais em escala quantitativa, a empresa tem a ferramenta para avaliar as alternativas necessárias para o aperfeiçoamento das suas capacidades internas.

Vislumbrando essas alternativas, o terminal pode planejar os investimentos em equipamentos, estrutura física e principalmente na capacitação através da especialização dos colaboradores envolvidos no processo, visando uma melhora no desempenho futuro e no atendimento às necessidades de seus clientes.

Em pesquisas sobre o tema, Takashina (1996) e Goessler (2006) descreveram que a avaliação do desempenho operacional é o caminho para a busca da melhoria contínua dos serviços e da produtividade da organização, aumentando a satisfação dos clientes, a competitividade empresarial e elevando a participação no *market share*.

O processo de avaliação de terminais não é um trabalho simples, pois dispõe de inúmeras variáveis envolvidas. Assim, diversos autores elaboraram modelos, técnicas e procedimentos que podem auxiliar nesse objetivo. Esses modelos, a partir da identificação da carga movimentada, procuram determinar os gargalos operacionais por meio de parâmetros pré-determinados. Os parâmetros são estruturados de forma a possibilitar a avaliação de projetos alternativos comparando diversos sistemas operacionais (PANAYIDES *et al.*, 2011; LEE *et al.*, 2014).

Dentre os principais modelos e técnicas desenvolvidos para avaliação do desempenho operacional de terminais de *contêineres*, destacam-se as técnicas de simulação, lógica *fuzzy*, *balanced scorecard*, lógica *neuro-fuzzy*, preferência declarada, análise envoltória de dados (*data envelopment analysis*) e análise multicritério de apoio à decisão.

O presente trabalho utiliza a técnica não paramétrica de análise envoltória de dados (DEA). A ferramenta DEA foi identificada como uma alternativa a outros métodos já empregados para avaliação de desempenho de terminais de *contêineres*, principalmente onde não é possível contar com informações estratégicas, visualizando assim a necessidade de entender se os recursos estão balanceados ou não.

O estudo que deu origem aos indicadores foi introduzido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e está baseado nas teorias econômicas de eficiência técnica e fronteira de produção elaborada por Farrell (1957). Assim, o modelo DEA é uma expansão do clássico trabalho de Farrell, generalizando a razão produto/insumo para o caso de múltiplos produtos e insumos. Esses autores definem DEA como um método quantitativo, empírico e não paramétrico que mede o desempenho relativo de unidades organizacionais semelhantes, gerando um único indicador de desempenho para cada unidade sob avaliação, colocando em uma mesma razão a título de comparação entre as eficiências.

Outro estudo que contribui para a aplicação da técnica é o de Ali e Seiford (1993). Segundo os autores, a técnica DEA utiliza um modelo de programação linear para construir uma fronteira de produção empírica, ou “superfície envoltória” de máximo desempenho, permitindo que se identifiquem unidades-referência, cujos índices de desempenho servem como referencial para as demais unidades, posicionadas sob a superfície envoltória, concluindo assim que a DEA mede diferenças de desempenho.

A literatura sobre DEA refere-se às unidades organizacionais como DMUs – *decision making units* (unidades tomadoras de decisão). As DMUs podem ser um agrupamento de empresas, departamentos, divisões ou unidades administrativas que têm insumos e produtos comuns e que estão sendo avaliadas pelo desempenho, conforme ponderado por Norman e Stoecker (1991) e Cooper *et al.* (2007).

A técnica DEA tem como objetivo primário a comparação de DMUs que realizam tarefas similares mas se diferenciam em recursos consumidos e saídas produzidas (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005).

Os modelos DEA clássicos podem ser classificados como: modelo CCR desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e modelo BCC desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984).

O modelo CCR originou-se no trabalho de M. J. Farrell. Guerreiro (2006) descreve que o modelo desenvolvido permite que seja ponderado

um conjunto de pesos (multiplicadores). Ao invés de uma classificação igual para todas as DMUs, Charnes *et al.* (1978) estipularam que cada DMU, por possuir um sistema de valores intrínsecos, teria o poder de definir o seu próprio conjunto de pesos, no sentido de maximizar a eficiência (Oliveira *et al.*, 2011). A condição necessária para a formulação é que todas as DMUs tenham uma eficiência inferior ou igual a 1.

O modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper, 1984), também conhecido como VRS (*Variable Return Scale*), pressupõe que as DMUs 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 (GUERREIRO, 2006).

Figueiredo (2005) e Guerreiro (2006) ponderam que este modelo é uma divisão do modelo CCR em duas componentes: eficiência técnica e eficiência de escala. A medida de eficiência técnica, resultante do modelo BCC, identifica a correta utilização dos recursos à escala de operação da DMU. A eficiência de escala é igual ao quociente da eficiência BCC com a eficiência CCR, e dá uma medida da distância da DMU em análise até uma DMU *benchmark*.

Na aplicação de DEA, Banker *et al.* (1984) recomendam que o número de DMUs deve ser no mínimo igual ao produto do número de variáveis de entrada pelo número de variáveis de saída, ou igual a 3 vezes o total de variáveis, adotando o critério que fornecer o maior número de DMUs.

Esta condição é conhecida como a regra de ouro da DEA. Quando ela não é atendida, os modelos tradicionais da DEA (CCR e BCC) tendem a não proporcionar uma boa discriminação das DMUs envolvidas, isto é, várias DMUs podem ser classificadas como eficientes. Este foi um aspecto detectado na aplicação do modelo BCC proposto no presente trabalho. Para contornar esse problema, foi proposto o método de eficiência composta normalizada que será descrito na seção 6.

3. Aplicações de DEA em Portos Secos

Conforme apresentado em Rios (2005), Roll e Hayuth (1993) foram os primeiros a realizarem estudos de DEA em portos. Eles utilizaram dados hipotéticos de 20 portos para medir a eficiência dos mesmos. Foram utilizados quatro *outputs* (nível de serviço, movimento de

carga, satisfação do usuário e número de atracações) e três *inputs* (capital, número de funcionários e tipo de carga).

JMartinez-Budría *et al.* (1999) avaliaram a eficiência de vinte e seis portos espanhóis no período de 1993 a 1997. Os portos foram divididos em três grupos homogêneos de acordo com o tamanho e a complexidade. Os autores utilizaram 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). Os resultados mostraram que o nível de eficiência dos portos é diretamente proporcional à complexidade dos mesmos. Assim, quanto maior a complexidade dos portos, maior o nível de eficiência..

EJá Tongzon (2001) utilizou dois *outputs* e seis *inputs* para medir a performance de quatro portos australianos e doze portos internacionais no ano de 1996. O estudo demonstrou que a técnica de DEA é um método viável para medir a eficiência dos terminais de *contêineres* e o resultado de eficiência obtido depende do tipo de modelo de DEA utilizado (Rios, 2005).

Rios *et al.* (2004) e Rios (2005) desenvolveram um estudo para medir a eficiência das operações de 13 terminais de *contêineres* brasileiros utilizando o método de saídas, alimentando a base de comparações com 4 entradas (número de guindastes, número de berços, número de funcionários e espaço físico do terminal) e 1 saída (quantidade de TEUs movimentadas). A conclusão é que dos 13 terminais analisados, 3 demonstraram eficiência de 100% (recursos de entrada balanceados com as saídas) e 4 terminais apresentaram uma eficiência menor que 50%, sendo sugeridas adequações para melhorar este rendimento.

Os aspectos fundamentais para o êxito na resolução do problema estão em desenvolver um modelo de produção adequado e identificar as entradas e saídas mais relevantes.

Bartual *et al.* (2004) empregaram a técnica para avaliar a eficiência operacional e financeira de terminais de *contêineres* no sistema portuário da Espanha. Os autores utilizaram o método de saídas, adotando 5 entradas (comprimento do cais da área portuária, área do terminal portuário de *contêiner*, quantidade de guindastes, recursos humanos envolvidos, quantidade de *transtainers*).

Assim, os autores analisaram os resultados obtidos em números de *contêineres* (20 e 40), cheios e vazios, operados pelo porto espanhol. Após o efetivo estudo dos *contêineres* movimentados, caracterizado pela eficiência operacional, os autores modelaram o sistema em termos financeiros.

Autores	Objetivos	Amostra	Modelo DEA	Inputs	Outputs
Roll e Hayuth (1993)	Estimular a eficiência dos portos	20 portos	CCR	<ul style="list-style-type: none"> • Capital • Funcionários • Tipo de carga 	<ul style="list-style-type: none"> • Nível de serviço • Movimento de carga • Satisfação do usuário • N° de Atracações
Martinez-Budria et al. (1999)	Examinar a eficiência relativa dos portos e a evolução de um determinado porto	26 portos na Espanha	BCC	<ul style="list-style-type: none"> • Despesa com pessoal • Taxa de depreciação 	<ul style="list-style-type: none"> • Total de carga movimentada • Receita obtida na locação
Tongzon (2001)	Especificar e testar os fatores que influenciam a performance e a eficiência do porto	4 portos australianos e 12 terminais de <i>contêineres</i> internacionais	CCR <i>Additive</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Número de guindastes, berços, rebocadores e funcionários • Área do terminal • Tempo entrega 	<ul style="list-style-type: none"> • TEUs • Movimentação Hora/Navio
Valentine e Gray (2001)	Comparação de desempenho operacional de terminais de <i>contêineres</i> privados x públicos	21 portos de <i>contêineres</i>	CCR	<ul style="list-style-type: none"> • Tamanho do berço para navio • Tamanho do Berço para Contêineres 	<ul style="list-style-type: none"> • N° de <i>contêineres</i> • Total de toneladas movimentadas
Rios et al. (2004)	Desenvolveram um estudo para medir a eficiência das operações dos terminais de <i>contêineres</i>	13 terminais de <i>contêineres</i>	CCR	<ul style="list-style-type: none"> • Número de guindastes • Berços • Colaboradores • Estrutura física do terminal 	<ul style="list-style-type: none"> • TEUs movimentadas
Bartual et al. (2004)	Emprego a técnica para avaliar a eficiência operacional e financeira de terminais de <i>contêineres</i> brasileiros	8 terminais de <i>contêineres</i>	BCC	<ul style="list-style-type: none"> • Comprimento do cais • Área do terminal portuário • Número de guindastes • Recursos humanos • Número de <i>transtainers</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • N° de <i>contêineres</i> movimentados
Fontes (2006)	Avaliar a eficiência de portos e terminais brasileiros	31 portos e terminais brasileiros	BCC	<ul style="list-style-type: none"> • Extensão total do cais 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação total de embarcações • Movimentação total da carga movimentada
Hung, Lu e Wang (2010)	Avaliar a eficiência operacional, os ganhos de eficiência de escala e a variabilidade dos modelos	31 portos da Ásia	CCR	<ul style="list-style-type: none"> • N° de berços • Área do terminal • N° de guindastes do cais • Comprimento do cais 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação anual em TEUs
Niaves e Tsekeris (2012)	Avaliar a eficiência de terminais de <i>contêineres</i> na região Sudeste da Europa	30 portos do sudeste da Europa	CCR	<ul style="list-style-type: none"> • Comprimento do cais • N° de berços • N° de guindastes 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação anual em TEUs
Wanke (2013)	Avaliar a eficiência dos portos brasileiros utilizando um modelo de dois estágios	27 portos brasileiros	Dois estágios	<ul style="list-style-type: none"> • N° de berços • Área do armazém • Área do pátio 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação anual em TEUs • Rendimento anual dos granéis sólidos em toneladas
Yuen, Zhang e Cheung (2013)	Avaliar a eficiência de portos chineses	21 portos chineses	Dois estágios	<ul style="list-style-type: none"> • Área do terminal • Comprimento do cais • N° de berços • N° guindastes de cais • N° guindastes de pátios 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação anual em TEUs

Figura 1 – Resumo de estudos aplicando DEA em portos

Fonte: Autor

Fontes (2006) desenvolveram e verificaram a aplicabilidade de um modelo DEA na avaliação da eficiência de 31 portos e terminais brasileiros.

Baseados nos dados da ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários), foi escolhido o modelo BCC com orientação ao output. Niaves e Tsekeris (2012) avaliaram a eficiência de portos na região sudeste da Europa, incluindo portos italianos na região do mar Mediterrâneo.

Foram implementados dois modelos não paramétricos. Os resultados mostram uma ineficiência dos portos, e os autores propõem investimento de capital de modo a maximizar a movimentação de *contêineres*.

Yuen *et al.* (2013) avaliam a eficiência de portos chineses. Os autores propõem um modelo de dois estágios, em que a eficiência operacional dos terminais é estimada por meio de um modelo

DEA, seguido por um modelo de regressão para examinar as variáveis que influenciam a eficiência dos terminais.

Wanke (2013) avaliou a eficiência de 27 portos brasileiros e também utilizou um modelo de dois estágios.

Propõe-se inicialmente um modelo DEA para avaliar a eficiência dos portos, e em seguida um modelo de regressão para identificar as variáveis críticas. A Figura 1 apresenta um resumo dos estudos que utilizaram a técnica DEA em portos.

4. Modelo proposto

Conforme descrito na seção 2, existem diversos modelos DEA à disposição dos pesquisadores, sendo que os mais usados são o CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) e o BCC (Banker, Charnes e Cooper).

Minimização de <i>Inputs</i> – BCC-I	Maximização de <i>Outputs</i> – BCC-O
<u>Primal (Envelope)</u>	<u>Primal (Envelope)</u>
<p><i>Min</i> θ</p> <p>Sujeito a:</p> $\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, r$ $-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, s$ $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ $\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$	<p><i>Max</i> θ</p> <p>Sujeito a:</p> $x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad \forall i$ $-\theta y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad \forall j$ $\sum_k \lambda_k = 1$ $\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$
<u>Dual (Multiplicadores)</u>	<u>Dual (Multiplicadores)</u>
<p><i>Max</i> $h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} - u_*$</p> <p>Sujeito a:</p> $\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} = 1$ $\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - u_* \leq 0, \quad K = 1, 2, \dots, n$ $u_j \text{ e } v_i \geq 0 \quad \forall j, i$ $u_* \in \Re$	<p><i>Min</i> $h_0 = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} - u_*$</p> <p>Sujeito a:</p> $\sum_{i=1}^r u_j y_{jk} = 1$ $\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - v_* \leq 0, \quad K = 1, 2, \dots, n$ $u_j \text{ e } v_i \geq 0 \quad \forall j, i$ $v_* \in \Re$

Figura 2 – Modelo BCC-I e BCC-O

Fonte: Guerreiro (2006)

onde: u_j, v_i – pesos de *outputs* e *inputs*, respectivamente; h_0 e θ – eficiência;
 x_{i0}, y_{j0} – *inputs* i e *outputs* j da DMU 0; x_{ik}, y_{jk} – *inputs* i e *outputs* j da DMU k ;
 λ_k – k -ésima coordenada da DMU 0 em uma base formada pelas DMUs de referência.

Se o objetivo é maximizar as saídas, fixando a quantidade de entradas, utiliza-se o modelo orientado a *outputs*. Quando se deseja minimizar os insumos, dado o nível desejado de saídas, utiliza-se o modelo orientado a *inputs*.

A formulação dos modelos está representada na figura abaixo. A partir do modelo primal é possível desenvolver o dual, conhecido como Modelo Envelope que, pelo teorema da dualidade forte, apresentará o mesmo valor ótimo para a função objetivo (GUERREIRO, 2006).

Segundo Guerreiro (2006), as variáveis u^* para orientação a *input* e v^* para orientações a *output* representam os retornos variáveis de escala, caracterizando a diferença em relação ao modelo CCR. São interpretadas da seguinte forma:

- a) variáveis positivas significam retornos decrescentes de escala
- b) variáveis negativas retornos crescentes de escala
- c) variáveis nulas retornos constantes de escala

O presente trabalho aplica o modelo BCC orientado a *outputs*, com o objetivo de identificar quais melhorias são necessárias para os terminais ineficientes, de modo a incrementar o nível operacional. Considerou-se que as variáveis de entrada são fixas, devido à capacidade de investimento restrita, e que os *outputs* podem ser maximizados.

5. Aplicação Empírica

De acordo com o levantamento do universo de Terminais pelo site do Ministério da Fazenda – Secretaria de Receita Federal, atualmente existem 46 unidades de negócio denominadas portos secos com o alvará de funcionamento no país. Foi aplicado um questionário via e-mail e telefone a todos os 46 portos secos, a fim de avaliar a eficiência dos mesmos.

O desempenho operacional dos portos secos será medido através de dados obtidos de recursos empregados e movimentação de *contêineres* no ano de 2009. Assim, por meio dos resultados obtidos, os terminais serão ranqueados pela sua atratividade operacional. As eficiências serão determinadas por meio do modelo DEA, com aplicação do método BCC orientado às saídas (*outputs*), com intuito de maximizar a eficiência dos recursos empregados.

O índice de respostas ao questionário foi de 26,08% (12 instituições responderam ao questionário e 34 não se manifestaram a respeito da pesquisa).

Os *inputs* e *outputs* avaliados como mais representativos para a determinação da produtividade dos terminais foram selecionados a partir dos estudos encontrados na literatura e inseridos na revisão deste trabalho. Os *inputs* escolhidos foram: a) área de movimentação de *contêiner*; b) área de armazenagem; c) recursos humanos; d) *reachstacker / top loader*; e) empilhadeiras. O *output* escolhido foi: a) movimentação de *contêiner* (TEUs). Conforme apresentado na Figura 1, diversos autores selecionam como *input* a área do terminal; Wanke (2013) considera, especificamente, a área de armazenagem. Bartual *et al.* (2004) também selecionaram a variável recursos humanos como *input*. Já o equipamento *reachstacker / top loader* é similar ao berço, *input* utilizado por muitos autores. Por outro lado, as empilhadeiras têm a mesma função dos guindastes. Com relação ao *output* escolhido, podemos visualizar a partir da Figura 1 que ele também é utilizado por muitos autores.

A seguir descreveremos com detalhe cada uma das variáveis selecionadas para avaliar a performance:

- a) Área de Movimentação de Contêiner ([m²]) – Recurso considerado como diferencial competitivo em portos secos em relação ao terminal marítimo pelas restrições de espaços nas zonas primárias portuárias. Como o porto seco pode ser instalado em qualquer área externa ao porto marítimo, a oferta e disponibilidade de área facilitou o processo de trânsito aduaneiro para estas áreas, desafogando parte do trânsito realizado nas zonas primárias.
- b) Área de Armazenagem ([m²]) – segue a mesma lógica do item anterior, complementando que uma infraestrutura de armazenagem pode possibilitar ao porto seco agregar valor ao produto do cliente, manter um estoque de segurança, montar *kits* promocionais, pagar os tributos após a nacionalização da carga, etc.
- c) Recursos Humanos ([quantidade]) – A relação de recursos humanos empregados na operação de todo terminal de *contêineres* foi uma variável encontrada na maioria dos estudos acerca do assunto, pois envolve o real entendimento da correta alocação destes recursos para operar equipamentos, planejar movimentações, desembaraçar junto a Aduana do país as mercadorias nos

contêineres, desova ou estufagem de *contêineres*, dentre outras atividades.

- d) *ReachStacker / Top Loader* ([quantidade]) – Estes equipamentos movimentam os *contêineres* no pátio, realizando operação de descarga do veículo rodoviário ou da composição férrea, de posicionamento do *contêiner* no pátio, envio para a desova (quando necessário), movimentação de vazios e posterior carregamento para transporte via rodoviário ou ferroviário. Realizando uma analogia com os terminais marítimos, esses recursos são similares aos berços de atracações com os pórticos para carga e descarga de *contêineres*, sendo que os *reachstacker* e *top loaders* são móveis, resultando em uma maior flexibilidade e agilidade em relação aos pórticos.
- e) Empilhadeiras ([quantidade]) – A mensuração da quantidade de empilhadeiras foi selecionada, pois no porto seco estes equipamentos podem

desempenhar uma função importante juntamente com as *reachstacker* e *top loaders* na movimentação de *contêineres* vazios, na desova e estufagem de *contêineres*, movimentação interna dentro do armazém para estocagem, etc. Assim, esta variável influencia significativamente a efetiva produtividade do terminal.

Variável de saída analisada:

- f) Movimentação de *Contêineres* ([TEUs]) – O *output* escolhido analisa a real movimentação de *contêineres* que os terminais foram capazes de operar nos anos de 2008 e 2009. Mesmo considerando um cenário de crise global, grandes contratos de comércio exterior foram cumpridos e utilizaram esses terminais como sendo parte da malha logística.

A Tabela 1 apresenta os dados coletados para cada variável de entrada e saída.

Tabela 1 – Quadro resumo dos dados coletados

INPUTS	1	2	3	4	5	6
Área de Movimentação de CTN (m ²)	15.000	20.000	23.000	50.000	44.000	44.055
Área de Armazenagem (m ²)	12.000	15.000	10.000	10.000	8.050	17.000
Recursos Humanos (qtde)	45	15	57	105	92	123
<i>Reach Staker / Top Loader</i> (qtde)	2	2	2	7	5	6
Empilhadeiras (qtde)	6	2	5	7	6	9
OUTPUTS	2009	2009	2009	2009	2009	2009
<i>Contêineres</i> Movimentados (TEUs)	1.200	4.100	4.530	13.500	9.250	10.635

INPUTS	7	8	9	10	11	12
Área de Movimentação de CTN (m ²)	30.000	12.500	25.000	20.000	35.000	27.500
Área de Armazenagem (m ²)	3.500	4.000	10.000	8.000	12.000	10.000
Recursos Humanos (qtde)	39	35	47	45	98	80
<i>Reach Staker / Top Loader</i> (qtde)	1	1	1	1	3	2
Empilhadeiras (qtde)	2	3	9	7	11	8
OUTPUTS	2009	2009	2009	2009	2009	2009
<i>Contêineres</i> Movimentados (TEUs)	1.720	2.552	8.450	7.500	10.200	8.150

Fonte: Autor

6. Análise dos Resultados

O *software* empregado na pesquisa foi o SIAD (Sistema Integrado de Apoio a Decisão), desenvolvido por Ângulo Meza *et al.* (2004), e tem como objetivo calcular todos os resultados dos modelos DEA clássicos (eficiência, pesos, alvos, *benchmarks* e folgas).

Ainda há módulos adicionais de DEA que vêm sendo incorporados no *software*, como a possibilidade de acrescentar possíveis restrições aos pesos (dos tipos Regiões de Segurança e *Inputs/Outputs* Virtuais) e demonstrar os resultados através da fronteira invertida.

Para o modelo BCC orientado a *inputs*, a Tabela 2 apresenta as eficiências obtidas de cada DMU (terminal entrevistado).

Tabela 2 – Tabela das Eficiências

DMU	Padrão
DMU_1	0,29
DMU_2	1,00
DMU_3	0,69
DMU_4	1,00
DMU_5	0,93
DMU_6	0,86
DMU_7	1,00
DMU_8	1,00
DMU_9	1,00
DMU_10	1,00
DMU_11	1,00
DMU_12	0,91

Fonte: Autor

A partir da Tabela 2, pode-se verificar que 7 terminais apresentaram a eficiência máxima; o terminal 1 foi o mais ineficiente.

Já a Tabela 3 apresenta o peso de cada variável de entrada e saída para cada DMU (variáveis de decisão do modelo BCC-O da Figura 2); os pesos são obtidos de modo a maximizar as saídas (movimentação de *contêineres*). Pode-se verificar que os *inputs* relacionados à área de movimentação de *contêiner* e área de armazenagem não influenciaram a classificação dos terminais. Por outro lado, a variável recursos humanos teve total influência na eficiência do terminal 2, e em menor escala do terminal 9. As demais variáveis de entrada (quantidade de *reachstackers/top loads* e de empilhadeiras) influenciaram a eficiência dos demais terminais. A última coluna representa a eficiência do terminal.

Tabela 3 – Peso das Variáveis

DMU	Peso Input_1	Peso Input_2	Peso Input_3	Peso Input_4	Peso Input_5	Peso Output_1	h0
DMU_1	0	0	0	0	0	0	-4,75
DMU_2	0	0	0,07	0	0	0	0
DMU_3	0	0	0	0,19	0,23	0	-0,51
DMU_4	0	0	0	0	0	0	1
DMU_5	0	0	0	0,06	0	0	-0,32
DMU_6	0	0	0	0	0	0	0,33
DMU_7	0	0	0	0	1,03	0	-2,66
DMU_8	0	0	0	0	0	0	-1,84
DMU_9	0	0	0,06	1,28	0	0	-2,93
DMU_10	0	0	0	0	0	0	0
DMU_11	0	0	0	0,08	0	0	0,72
DMU_12	0	0	0	0,12	0,06	0	0,39

Fonte: Autor

Legenda:

Input 1 – Área de Movimentação de *Contêiner*

Input 2 – Área de Armazenagem

Input 3 – Quantidade de Recursos Humanos

Input 4 – Quantidade de *ReachStackers* e *Top Loads*

Input 5 – Quantidade de Empilhadeiras

Output 1 – Quantidade de TEUs movimentadas no ano

Os resultados do modelo DEA para cada DMU analisada (que incluem as folgas e os níveis que as variáveis devem atingir para as DMUs serem eficientes) estão nas Tabelas 4 - 15, respectivamente.

A variável “atual” representa os insumos observados; a variável “radial” é o cálculo da redução dos insumos em direção à fronteira eficiente. Mesmo que o movimento radial tenha projetado a DMU para a fronteira eficiente, é possível existir alguma ineficiência, caracterizada como “folga”. O “alvo” é o movimento radial diminuído das possíveis folgas.

O objetivo da análise é identificar os terminais eficientes, que compõem a fronteira de eficiência e servem de *benchmark* para as ineficientes, que por sua vez buscam maximizar suas eficiências por meio de alvos e metas relativos à fronteira determinada.

Sendo assim, cada terminal ineficiente terá suas DMUs *benchmarks* eficientes correspondentes, que servirão de parâmetro para determinação das metas necessárias (consumo de *inputs* e geração de *outputs*) para atingir a fronteira eficiente.

Tabela 4 – Tabela DMU 1

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> (m ²)	15.000,00	15.000,00	0	15.000,00
Área de Armazenagem (m ²)	12.000,00	12.000,00	6.666,67	5.333,33
Recursos Humanos (qtde)	45	45	6,67	38,33
Reach Staker / Top Loader (qtde)	2	2	1	1
Empilhadeiras (qtde)	6	6	1,67	4,33
OUTPUTS				
Contêineres Movimentados (TEU)	1.200,00	4.201,33	0	4.201,33

Fonte: Autor

Neste primeiro terminal avaliado, é possível identificar folgas em todos os *inputs*, com exceção da área de movimentação de *contêineres*. Há folgas muito significativas, principalmente em relação à área de armazenagem, representando aproximadamente 56% do valor atual.

Tudo isso vai refletir em um resultado bem insatisfatório em relação a outros terminais. Esse terminal apresentará a menor movimentação de *contêineres*, o que corresponde apenas a 1.200 no ano pesquisado.

O valor alvo para TEU, utilizando as capacidades instaladas atuais, é 4.201,33. A diferença dos recursos disponíveis para a marca esperada corresponde, portanto, a 3.001 *contêineres* no ano.

Os resultados na Tabela 5 permitem verificar que o terminal 2 não apresentou nenhuma folga nas entradas, concluindo que os recursos disponíveis estão bem balanceados; contudo, a baixa movimentação (9^o posição em termos de movimentação) prejudicará a posição em relação a eficiência do terminal.

Tabela 5 – Tabela DMU 2

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> (m ²)	20.000,00	20.000,00	0	20.000,00
Área de Armazenagem (m ²)	15.000,00	15.000,00	0,00	15.000,00
Recursos Humanos (qtde)	15	15	0	15
Reach Staker / Top Loader (qtde)	2	2	0	2
Empilhadeiras (qtde)	2	2	0	2
OUTPUTS				
Contêineres Movimentados (TEU)	4.100,00	4.100,00	0	4.100,00

Fonte: Autor

Tabela 6 – Tabela DMU 3

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> (m ²)	23.000,00	23.000,00	0	23.000,00
Área de Armazenagem (m ²)	10.000,00	10.000,00	0,00	10.000,00
Recursos Humanos (qtde)	57	57	15,49	41,51
Reach Staker / Top Loader (qtde)	2	2	0	2
Empilhadeiras (qtde)	5	5	0	5
OUTPUTS				
Contêineres Movimentados (TEU)	4.530,00	6.593,42	0	6.593,42

Fonte: Autor

No terminal 3 (vide Tabela 6), a marca que está bastante evidente é a folga apresentada no balanceamento de recursos humanos utilizados no terminal. A folga está 27,17% acima da marca

ideal, que seria de 41,5 colaboradores. O alvo calculado mostra que a quantidade movimentada de *contêineres* deveria sair de 4.530,00 para 6.593,42.

Tabela 7 – Tabela DMU 4

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> (m ²)	50.000,00	50.000,00	0	50.000,00
Área de Armazenagem (m ²)	10.000,00	10.000,00	0,00	10.000,00
Recursos Humanos (qtde)	105	105	0	105
Reach Staker / Top Loader (qtde)	7	7	0	7
Empilhadeiras (qtde)	7	7	0	7
OUTPUTS				
<i>Contêineres</i> Movimentados (TEU)	13.500,00	13.500,00	0	13.500,00

Fonte: Autor

Tabela 8 – Tabela DMU 5

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> ([m ²])	44.000,00	44.000,00	6406,25	37.593,75
Área de Armazenagem ([m ²])	8.050,00	8.050,00	0,00	8.050,00
Recursos Humanos ([qtde])	92	92	10,21	81,79
<i>Reach Staker / Top Loader</i> ([quantidade])	5	5	0	5
Empilhadeiras ([quantidade])	6	6	0,28	5,72
OUTPUTS				
<i>Contêineres</i> Movimentados ([TEUs])	9.250,00	9.912,52	0	9.912,52

Fonte: Autor

O 4º Terminal estudado (vide Tabela 7) apresentou um balanceamento dos recursos equilibrado, sem nenhuma folga apresentada. Os resultados obtidos mostram que foi o terminal que mais movimentou *contêineres*, o que dispõe da maior área, do maior número de *reach-stackers* e o segundo em número de recursos humanos.

No terminal 5 (vide Tabela 8), há folgas representativas na área utilizada para

movimentação dos *contêineres* e também na quantidade de recursos humanos, o que certamente prejudicará o posicionamento deste terminal em comparação aos outros.

O alvo calculado mostra que a quantidade de *contêineres* movimentados (TEUs) deveria sair de 9.250,00 para 9.912,52. Cabe destacar que este terminal é o 4º em relação à quantidade de movimentações.

Tabela 9 – Tabela DMU 6

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> ([m ²])	44.055,00	44.055,00	0	44.055,00
Área de Armazenagem ([m ²])	17.000,00	17.000,00	7.396,33	9.603,67
Recursos Humanos ([qtde])	123	123	29,89	93,11
<i>Reach Staker / Top Loader</i> ([quantidade])	6	6	0,19	5,81
Empilhadeiras ([quantidade])	9	9	2	7
OUTPUTS				
<i>Contêineres</i> Movimentados ([TEUs])	10.635,00	12.311,00	0	12.311,00

Fonte: Autor

Tabela 10 – Tabela DMU 7

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> ([m ²])	30.000,00	30.000,00	0	30.000,00
Área de Armazenagem ([m ²])	3.500,00	3.500,00	0,00	3.500,00
Recursos Humanos ([qtde])	39	39	0	39
<i>Reach Staker / Top Loader</i> ([quantidade])	1	1	0	1
Empilhadeiras ([quantidade])	2	2	0	2
OUTPUTS				
<i>Contêineres</i> Movimentados ([TEUs])	1.720,00	1.720,00	0	1.720,00

Fonte: Autor

De acordo com os resultados na Tabela 9, a análise do terminal 6 está centrada nas folgas ocorridas na área de armazenagem e na quantidade de pessoas. Nestes dois *inputs*, o terminal 6 foi o que apresentou as maiores quantidades de recursos, o que demonstra claramente um desbalanceamento dos recursos em relação a saída.

O valor alvo para TEU, utilizando as capacidades instaladas atuais, deveria ser de

12.311,00. A diferença dos recursos disponíveis para o valor alvo corresponde, portanto, a 1.676 *contêineres* no ano.

Os dados obtidos no terminal 7, conforme consta na Tabela 10, demonstram que os recursos estão bem alinhados, não apresentando folgas. Contudo, este terminal atingiu apenas a 11ª melhor marca em relação à quantidade de movimentações. Isto será refletido na posição final de classificação.

Tabela 11 – Tabela DMU 8

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> ([m ²])	12.500,00	12.500,00	0	12.500,00
Área de Armazenagem ([m ²])	4.000,00	4.000,00	0,00	4.000,00
Recursos Humanos ([qtde])	35	35	0	35
<i>Reach Staker / Top Loader</i> ([quantidade])	1	1	0	1
Empilhadeiras ([quantidade])	3	3	0	3
OUTPUTS				
<i>Contêineres</i> Movimentados ([TEUs])	2.552,00	2.552,00	0	2.552,00

Fonte: Autor

Tabela 12 – Tabela DMU 9

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> ([m ²])	25.000,00	25.000,00	0	25.000,00
Área de Armazenagem ([m ²])	10.000,00	10.000,00	0,00	10.000,00
Recursos Humanos ([qtde])	47	47	0	47
<i>Reach Staker / Top Loader</i> ([quantidade])	1	1	0	1
Empilhadeiras ([quantidade])	9	9	0	9
OUTPUTS				
<i>Contêineres</i> Movimentados ([TEUs])	8.450,00	8.450,00	0	8.450,00

Fonte: Autor

Semelhantemente ao terminal anterior, verifica-se nos resultados da Tabela 11 que o terminal 8 também não apresentou folga na matriz. Como alcançou apenas a 10ª marca em relação à quantidade de movimentações, também ficará mais distante dos primeiros postos.

Os dados obtidos com o Terminal 9 demonstram que não há folga entre os recursos disponíveis e a quantidade de movimentações no ano. O fato deste terminal não apresentar os maiores números para cada recurso isolado resultará em boa classificação do mesmo.

De acordo com os resultados na Tabela 13, verifica-se que o terminal 10 conseguiu o objetivo de equalizar o balanceamento dos recursos, não apresentando folga nos *inputs*. Como será verificado adiante, este terminal 10 se classificou entre os primeiros colocados.

Conforme mostram os resultados na Tabela 14, o terminal 11 também conseguiu o objetivo de equalizar o balanceamento dos recursos, contudo, como utilizou a maior quantidade de empilhadeiras entre todos os terminais, ficará um pouco mais distante das primeiras colocações.

Tabela 13 – Tabela DMU 10

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> ([m ²])	20.000,00	20.000,00	0	20.000,00
Área de Armazenagem ([m ²])	8.000,00	8.000,00	0,00	8.000,00
Recursos Humanos ([qtde])	45	45	0	45
<i>Reach Staker / Top Loader</i> ([quantidade])	1	1	0	1
Empilhadeiras ([quantidade])	7	7	0	7
OUTPUTS				
<i>Contêineres</i> Movimentados ([TEUs])	7.500,00	7.500,00	0	7.500,00

Fonte: Autor

Tabela 14 – Tabela DMU 11

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> ([m ²])	35.000,00	35.000,00	0	35.000,00
Área de Armazenagem ([m ²])	12.000,00	12.000,00	0,00	12.000,00
Recursos Humanos ([qtde])	98	98	0	98
<i>Reach Staker / Top Loader</i> ([quantidade])	3	3	0	3
Empilhadeiras ([quantidade])	11	11	0	11
OUTPUTS				
<i>Contêineres</i> Movimentados ([TEUs])	10.200,00	10.200,00	0	10.200,00

Fonte: Autor

Já o terminal 12 apresentou 2 folgas representativas (vide Tabela 15), sobretudo em relação à quantidade de pessoas que deveria ser reduzido em 30% para ficar balanceado. Com esta folga significativa, o terminal ocupará posições intermediárias. O valor alvo em relação à quantidade de *contêineres* movimentados (TEU) é 8.975,00; a diferença dos recursos disponíveis para a marca esperada corresponde a 825 *contêineres* por ano. Os *benchmarks* de todas as DMUs (eficientes e ineficientes) estão indicados na Tabela 16.

Pode-se verificar, a partir da Tabela 16, que

o terminal 1 tem como *benchmark* o terminal 8, seguido do terminal 3. Os terminais 8 e 3 têm semelhanças nas características de produção quando comparados com o terminal 1, porém, se mostraram mais eficientes.

Com relação ao terminal 3, o *benchmark* é o terminal 10, com maior eficiência, seguido do terminal 2. Os terminais 4, 8 e 7, apesar de também serem alvos, se mostraram menos eficientes. Para o terminal 5, o *benchmark* é o terminal 4. Apresenta características similares em termos de recursos disponíveis, porém, como melhor performance.

Tabela 15 – Tabela DMU 12

INPUTS	Atual	Radial	Folga	Alvo
Área de Movimentação de <i>contêiner</i> ([m ²])	27.500,00	27.500,00	0	27.500,00
Área de Armazenagem ([m ²])	10.000,00	10.000,00	666,67	9.333,33
Recursos Humanos ([qtde])	80	80	24	56
<i>Reach Staker / Top Loader</i> ([quantidade])	2	2	0	2
Empilhadeiras ([quantidade])	8	8	0	8
OUTPUTS				
<i>Contêineres</i> Movimentados ([TEUs])	8.150,00	8.975,00	0	8.975,00

Fonte: Autor

Tabela 16 – *Benchmarks*

DMU	DMU_2	DMU_4	DMU_7	DMU_8	DMU_9	DMU_10	DMU_11
DMU_1	0,00	0,00	0	0,67	0,00	0,33	0,00
DMU_2	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DMU_3	0,31	0,11	0,02	0,08	0	0,47	0
DMU_4	0	1	0	0	0	0	0
DMU_5	0	0,67	0	0,32	0	0,01	0
DMU_6	0,00	0,80	0	0,00	0,00	0,20	0,00
DMU_7	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
DMU_8	0,00	0,00	0	1,00	0,00	0,00	0,00
DMU_9	0,00	0,00	0	0,00	1,00	0,00	0,00
DMU_10	0,00	0,00	0	0,00	0,00	1,00	0,00
DMU_11	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	1,00
DMU_12	0,00	0,17	0	0,00	0,50	0,33	0,00

Fonte: Autor

Já o *benchmark* para a DMU 6 é o terminal 4; possui características muito semelhantes em termos de recursos consumidos, porém, com um desempenho 27% maior do total de saídas. Finalmente, com relação à DMU 12, os alvos são os terminais 9, 10 e 4, respectivamente. Apesar da DMU 4 ser mais eficiente que as DMUs 9 e 10, não apresenta tanta semelhança com a DMU 12 em termos de recursos consumidos. Os demais terminais apresentaram 100% de aproveitamento.

Assim, empregando apenas a análise padrão, ocorreram 7 empates com máxima eficiência, não sendo possível criar uma classificação dos terminais. A análise padrão faz com que várias DMUs fiquem com 100% de eficiência.

Como alternativa, pode-se utilizar o método de eficiência composta normalizada, que faz com que cada DMU tenha um valor diferente sempre; este método permite uma análise mais

aprofundada quando ocorre este tipo de empate. De acordo com Pimenta et al. (2003), a eficiência composta é o resultado da análise da DMU pela fronteira padrão e invertida:

$$\text{Eficiência composta} = \frac{\text{Eficiência padrão} + (1 - \text{Eficiência invertida})}{2} \quad (1)$$

Também a eficiência composta normalizada (ou composta*) pode ser obtida:

$$\text{Eficiência composta*} = \frac{\text{Eficiência composta}}{\text{Max (Eficiência composta)}} \quad (2)$$

Desta forma, uma segunda análise do modelo foi efetuada pelo método da eficiência composta normalizada. A Tabela 17 apresenta o resultado obtido pelo software utilizando o método da eficiência composta normalizada. E a classificação dos terminais está indicada na Tabela 18.

Tabela 17 – Cálculo da Eficiência Composta Normalizada

DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
DMU 1	0,29	1,00	0,14	0,18
DMU 2	1,00	1,00	0,50	0,64
DMU 3	0,69	0,64	0,52	0,67
DMU 4	1,00	1,00	0,50	0,64
DMU 5	0,93	1,00	0,47	0,59
DMU 6	0,86	1,00	0,43	0,55
DMU 7	1,00	1,00	0,50	0,64
DMU 8	1,00	0,47	0,76	0,98
DMU 9	1,00	0,78	0,61	0,78
DMU 10	1,00	0,43	0,78	1,00
DMU 11	1,00	1,00	0,50	0,64
DMU 12	0,91	0,74	0,59	0,75

Fonte: Autor

* Eficiência Normalizada

Tabela 18 – Tabela de classificação dos terminais

TERMINAL	CLASSIFICAÇÃO
DMU 10	1º
DMU 8	2º
DMU 9	3º
DMU 12	4º
DMU 3	5º
DMU 2	6º
DMU 4	6º
DMU 7	6º
DMU 11	6º
DMU 5	10º
DMU 6	11º
DMU 1	12º

Fonte: Autor

De acordo com o exposto nas Tabelas 17 e 18, verifica-se que o terminal com a menor pontuação na fronteira invertida e a maior no composto ficou com a 1ª colocação geral. Todos os terminais que não apresentaram folgas ficaram nas primeiras colocações.

7. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo identificar o índice de produtividade dos terminais de *contêineres* dos portos secos no Brasil, estabelecendo um fator de comparação entre eles. Estes terminais podem ser um importante aliado do importador e exportador no instante de planejar o fluxo logístico e fiscal que as mercadorias devem percorrer até o destino

final. Dentre as principais variáveis compreendidas para analisar o rendimento, foram selecionadas, como *inputs*: a área que o terminal dispõe, tanto para movimentação quanto para armazenagem, quantidade de recursos humanos, *reachstacker / top loader* e empilhadeiras. Como *output*, selecionou-se a quantidade de TEUs movimentadas anualmente.

Para analisar a eficiência dos portos secos, foi utilizada a técnica DEA, buscando identificar os terminais eficientes, que compõem a fronteira de eficiência e servem de *benchmark* para as ineficientes, que por sua vez buscam maximizar suas eficiências por meio de alvos e metas relativos à fronteira determinada.

Aplicou-se o modelo BCC orientado a *outputs*, com o objetivo de identificar quais melhorias são necessárias para os portos ineficientes, de modo a incrementar o nível operacional. Considerou-se que as variáveis de entrada são fixas, devido à capacidade de investimento restrita, e que os *outputs* podem ser maximizados.

Da amostra analisada, foi possível identificar, em uma primeira análise do DEA (BCC orientado a *outputs*), que 58,33% dela se mostrou eficiente em relação ao balanceamento dos recursos. Para os outros 41,67%, concluiu-se que o desbalanceamento está atrelado a um ou mais *inputs*.

Os terminais mais significativos em relação à área de movimentação dos *contêineres* foram representados pela DMU 1 e DMU 5. Já em relação à quantidade de recursos humanos, assim como na área de armazenagem, os terminais mais significativos foram representados pela DMU 3, DMU 6 e DMU 12.

Ao ter sido constatado o resultado em que 58,33% das DMUs apresentaram 100% de eficiência, foi utilizado uma variação do modelo DEA para desempatar estas unidades, objeto de estudo deste trabalho. Quando analisado o modelo pela eficiência normalizada, foi possível obter uma nova tabela de eficiência, onde apenas a DMU 10 continua com 100% de produtividade. Assim, por meio destas duas simulações, foi possível elencar e visualizar os índices de produtividade dos terminais nos anos de 2009.

Como limitação da pesquisa, pode-se destacar que o estudo adotou as quantidades como sendo uma média anual, pois ocorreram variações ao longo do ano em relação a cada *input*, como, por exemplo, contratações e demissões de colaboradores, compra de máquina na metade do ano, parada de máquinas para reformas e manutenções, etc. Outro fator limitador é que o estudo considerou apenas uma parte do processo

de um porto seco, ficando em aberto para novos estudos os impactos da multimodalidade na eficiência, o processo de desembarço sobre rodas (caminhões), processos de carga solta, granéis, líquidos, entre outras.

Como futuros estudos, sugere-se:

1. analisar os custos envolvidos em cada variável e o impacto financeiro de aumentar ou diminuir recursos para melhorar a eficiência produtiva do terminal;
2. desenvolver um estudo comparativo de eficiências entre os terminais de *contêineres* situados na zona primária com os portos secos;
3. mensurar o impacto que o porto seco causa no terminal marítimo em termos de operacionalidade e financeiro;
4. mensurar os custos logísticos de importação ou exportação quando envolver o porto seco com o enviado diretamente ao porto marítimo.

8. Referências Bibliográficas

- ALI, A. I.; SEIFORD, L. M. The Mathematical Programming Approach to Efficiency Analysis. In: H. Fried, C. A. K. Lovell and S. Schmidt (eds.), The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; COELHO, P.H.G. FSDA – Free Software for Decision Analysis (SLAD – Software Livre de Apoio à Decisão): A Software Package for Data Envelopment Analysis Models. In: XII Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa, 12., 2004, La Habana. Memorias., La Habana, 2004.
- ARAUJO, P. E. S. de. Terminais Interiores de Contêineres. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) Instituto Militar de Engenharia, 1983.
- BANKER, R.D.; CHARNES, R.F.; COOPER, W.W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v. 30, p. 1078–1092, 1984.
- BARTUAL, A. M.; MULINAS, A. M.; HIGUIRO, N. M.; GARRIDO, R. S. Estudio de la Eficiencia Técnica y Economía de las Terminales Portuárias. Anais do VI Congreso de Ingeniería del transporte, España, 2004.
- CHARNES, A.; COOPER, W.; W RHODES. Measuring efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, v. 1, p. 429–444, 1978.
- COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver

- Software. 2.ed. New York: Springer Science & Business, 2007.
- FARRELL, M.J. The measurement of productivity efficiency. *Journal of Royal Statistical Society, Series A*, 120, part 3, p. 253-281, 1957.
- FIGUEIREDO, D. S. Índice híbrido de eficácia e eficiência para lojas de varejo. Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal Fluminense, 2005
- FONTES, O. H. P. M. Avaliação da Eficiência Portuária através de uma modelagem DEA. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2006.
- GOESSLER, L.G.M. Uso de sistemas de medição de desempenho para melhoria contínua: um estudo da influência do estilo de gestão. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.
- GUERREIRO, A.S. Análise da eficiência de empresas do comércio eletrônico usando técnicas de análise envoltória de dados. Dissertação de mestrado, Puc-Rio, 2006.
- HUNG, S. W; LU, W. M; WANG, T. P. Benchmarking the operating efficiency of Asia container ports. *European Journal of Operational Research*, v. 203, n. 3, p.706-713, 2010.
- JARZEMSKIS, A.; VASILIAUSKAS, A. V. Research dry port concept as intermodal node. *Transport*, v. 22, n. 3, p. 207–213, 2007.
- LEE, T.; YEO, G-T.; THAI, V.V. Environmental efficient analysis of port cities: Slacks-based measure data envelopment analysis approach. *Transport Policy*, v.33, p.82-88, 2014.
- MARTINEZ-BUDRIA, E.; DIAZ-ARMAS, R.; NAVARRO-IBANEZ, M.; RAVELOMESA, T. 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, 1999.
- NIAVIS, S; TSEKERIS, T. Ranking and causes of inefficiency of container seaports in South-Eastern Europe. *European Transport Research Review*, v. 4, n. 1, p. 235-244, 2012.
- NORMAN, M.; STOECKER, B. Data envelopment analysis: the assessment of performance. West Sussex: John Wiley e Sons, 1991.
- OLIVEIRA, N.G.A.; ARAUJO, M.I.S.; BATISTA, M.G.; DERZI, E.C.M.; YAMAGUCHI, H.K.L. Análise Envoltória de Dados: um Levantamento Bibliográfico dos Modelos DEA Aplicados no Setor Educacional no Brasil, período de 1999 a 2009. *Anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2011.
- PANAYIDES, P.M.; LAMBERTIDES, N.; SAWA, C.S. The relative efficiency of shipping companies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v.47, n.5, p.681-694, 2011.
- PIMENTA, H.L.N.; MACEDO, M.A.; MELLO, J.C.C.B.S. Decisão da Realização de Investimentos em Tecnologia da Informação com Análise Envoltória de Dados. *Revista Produção online*, v.4, n.2, p.1-16, 2003.
- RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. G.; BECKER, J. L. Medindo a Eficiência das Operações dos Terminais de Contêineres Brasileiros. In: II Concurso Gaúcho de Artigos Sobre Comércio Exterior, 2004, São Leopoldo, Rio Grande do Sul. 2004.
- RIOS, L.R. Medindo a Eficiência Relativa das Operações dos Terminais de *Contêineres* do Mercosul. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Administração), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- ROCHA, P. C. A. Logística & aduana. 2ª ed. São Paulo: Edições Aduaneiras, 2003.
- RODRIGUES, D.; NUNO, F.; RAGGIOTTI, N. Larousse Ilustrado da Língua Portuguesa, Larousse do Brasil, São Paulo, 2004.
- ROLL, Y.; HAYUTH, Y. Port performance comparison applying DEA. *Maritime Policy and Management*, v. 20, n. 2, p. 153-161, 1993.
- SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E. G.; BIONDI NETO, L. Curso de análise envoltória de dados. *Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Gramado, RS, 2005.
- TAKASHINA, N. T. Indicadores da Qualidade e do Alto Desempenho: como Estabelecer Metas e Medir Resultados. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.
- TONGZON, J. Efficiency Measurement of select Australian an International Port using Data Envelopment Analysis. *Transportation Research*, v. 35, Part A, p.107-122, 2001.
- VIS, I.F.A.; KOSTER, R. Transshipment of containers at a container: an overview. *European Journal of Operational Research*, v. 147, n.1, p.1-16, 2003.
- WANKE, P. F. Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian ports: A two-stage network- DEA approach. *Transport Policy*, v. 29, n. 1, p. 145-153, 2013.
- YUEN, A. C. L; ZHANG, A; CHEUNG, W. (2013) Foreign participation and competition: A way to improve the container port efficiency in China? *Transportation Research Part A*, v. 49, n.1, p. 220-231, 2013.