# UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CENTRO TECNLÓGICO

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Área de Concentração: Transportes

**KAREN VASSOLER MARTINS** 

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA RELATIVA DE PORTOS MULTIPROPÓSITO

## **KAREN VASSOLER MARTINS**

## ANÁLISE DA EFICIÊNCIA RELATIVA DE PORTOS MULTIPROPÓSITO

Dissertação apresentada ao Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como pré-requisito para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, na Área de concentração de Transportes.

Orientadora: Prof.ª Marta Monteiro da Costa Cruz.

Vitória - ES

## Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP) (Biblioteca Setorial Tecnológica, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Martins, Karen Vassoler, 1977-

M386a

Análise da eficiência relativa de portos multipropósito / Karen Vassoler Martins. – 2015.

95 f.: il.

Orientador: Marta Monteiro da Costa Cruz. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Análise envoltória de dados (DEA). 2. Portos. I. Cruz, Marta Monteiro da Costa. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

### **Karen Vassoler Martins**

## ANÁLISE DA EFICIÊNCIA RELATIVA DE PORTOS MULTIPROPÓSITO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como pré-requisito para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, na Área de concentração de Transportes.

Aprovada no dia 03 de julho de 2015 por:

Profa. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz Doutora em Engenharia de Transportes - COPPE/UFRJ Orientadora - UFES

> Profa. Dra. Patrícia Alcantara Cardoso Doutora em Engenharia de Produção – PUC/Rio Membro Interno - UFES

> > Profa. Dra. Lidia Angulo Meza Doutora em Engenharia de Produção Membro Externo - UFF

#### **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por tudo.

Aos meus pais, irmãos e marido, pelo incentivo e compreensão durante minhas ausências tantas vezes justificadas pela necessidade de dedicação a este trabalho.

Aos Diretores da CODESA, Senhor Danilo Roger Marçal, Senhor Hugo José Amboss, Senhor Raul Moura de Sá e Senhor Clóvis Lascosque, pela oportunidade e apoio na realização do curso.

À minha orientadora, Prof.ª Marta Cruz, pela orientação, confiança e amizade.

Aos membros da banca examinadora, Prof.ª Patrícia Alcântara Cardoso e Prof.ª Lídia Angulo Meza, por aceitarem o convite.

À Secretaria do PPGEC, por todo apoio prestado.

#### **RESUMO**

A eficiência portuária é fator fundamental para a sustentabilidade do comércio internacional e para o crescimento econômico dos países. Por isso, torna-se imprescindível conhecer o desempenho e realizar o adequado planejamento do setor portuário. Nos estudos sobre eficiência em instalações portuárias, a Análise Envoltória de Dados (DEA) tem se mostrado apropriada e seu emprego tem sido crescente nos últimos 20 anos. Entretanto, boa parte dessas pesquisas compara apenas instalações portuárias especializadas, que movimentam cargas da mesma natureza. Com o objetivo de promover uma análise de eficiência entre portos multipropósito utilizando DEA, esta pesquisa analisou um conjunto de 29 portos públicos marítimos brasileiros, na movimentação de cargas no ano de 2013 em relação à infraestrutura disponível. Foram empregadas como variáveis de entrada do modelo (inputs) o calado máximo no canal de acesso e a extensão de acostagem e como variável de saída (output) o total de carga movimentada. Tendo em vista que na movimentação de granéis sólidos, granéis líquidos, carga geral solta e contêineres os recursos são empregados de forma distinta, foi proposto um procedimento de ponderação dos outputs, a fim de evitar distorções na aplicação da técnica. A pesquisa também possibilitou identificar a eficiência portuária por natureza de carga e estabelecer o ranking do desempenho portuário das instalações. Os resultados obtidos contribuem para a evolução do uso da técnica e para ampliação das oportunidades de estudos no setor portuário.

Palavras-chave: DEA, Análise Envoltória de Dados, Portos.

#### **ABSTRACT**

Port efficiency is a key factor for the sustainability of international trade and economic growth of countries. Therefore, it is essential to know the performance and conduct the proper planning of port sector. In studies of efficiency in port facilities, Data Envelopment Analysis (DEA) has been shown to be appropriate and their use has been increasing in the last 20 years. However, much of this research compares only specialized port facilities, which handle cargoes of the same nature. In order to promote efficiency analysis between multipurpose ports using DEA, this research examined a group of 29 Brazilian maritime public ports in cargo handling in 2013 towards their available infrastructure. There were used as model inputs the maximum draft in the access channel and the extension of dockage and as output variable the total cargo handled. Considering that in the handling of dry bulk, liquid bulk, general cargo and containers resources are used in different ways, it was proposed a procedure in order to avoid distortions in the technical application. The research also made it possible to identify port efficiency by cargo nature and to establish the ranking of port performance of the facilities. The results contribute to the evolution of the use of the technique and expansion of study opportunities in the port sector.

**Keywords:** DEA, Data envelopment analysis, Ports.

## **SUMÁRIO**

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	17
1.2 JUSTIFICATIVA	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 TRANSPORTE MARÍTIMO	20
2.2 PORTOS: PRINCIPAIS CONCEITOS, ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA	21
2.3 DESEMPENHO PORTUÁRIO	28
2.4 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA	31
2.4.1 Medidas de eficiência	36
2.5 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	37
2.5.1 Definição e características do modelo	37
2.5.2 Modelagem em DEA	43
2.5.2.1 Seleção de DMUs	44
2.5.2.2 Seleção de variáveis	46
2.5.2.3 Seleção e aplicação do modelo	48
3 EFICIÊNCIA DE PORTOS MULTIPROPÓSITO COM A APLICAÇÃO DE DEA	50
3.1 UNIVERSO PESQUISADO	50
3.1.1 Análise dos Portos Organizados em 2013	51
3.2 MÉTODO PROPOSTO	55
4 RESULTADOS	66
4.1 UNIDADES EFICIENTES	68
4.1.1 Porto de Antonina	68
4.1.2 Porto de Itaguaí	70
4.1.3 Porto de Paranaguá	72
4.1.4 Porto de São Sebastião	74
4.1.5 Porto de Santos	74
4.2 UNIDADES INEFICIENTES	77
4.2.1 Porto de São Francisco do Sul	77

4.2.2 Porto de Itaqui	78
4.2.3 Suape	80
4.3 ANÁLISE GERAL DOS RESU	JLTADOS 82
5 CONCLUSÕES	85
6 REFERÊNCIAS	87

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Etapas na movimentação de cargas via transporte marítimo	24
Figura 2 - Produtividade X Eficiência	31
Figura 3 - Alcance da fronteira de eficiência	32
Figura 4 - Exemplo com inputs e outputs únicos	39
Figura 5 - Representação das fronteiras BCC e CCR	42
Figura 6 - Gráfico da evolução da movimentação de carga	53
Figura 7 - Evolução da movimentação de cargas nos principais portos	54
Figura 8 - Modelo de movimentação de cargas	57
Figura 9 - Localização do Porto de Antonina	68
Figura 10 - Hinterlândia do Porto de Antonina	69
Figura 11 - Localização do Porto de Itaguaí	70
Figura 12 - Hinterlândia do Porto de Itaguaí	71
Figura 13 - Mapa de localização do Porto de Paranaguá	72
Figura 14 - Hinterlândia do Porto de Paranaguá	73
Figura 15 - Localização do Porto de Santos	75
Figura 16 - Hinterlândia do Porto de Santos	75
Figura 17 - Localização do Porto de São Francisco do Sul	77
Figura 18 - Hinterlândia do Porto de São Francisco do Sul	78
Figura 19 - Mapa de localização do Porto de Itaqui	79
Figura 20 - Mapa de localização do Porto de Suape	80
Figura 21 - Área de influência do Porto de Suape	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Movimentação de cargas nos portos e terminais brasileiros em 2013	52
Tabela 2 - Variáveis utilizadas no modelo	59
Tabela 3 - Classificação dos portos e eficiência na movimentação das cargas	63
Tabela 4 – Eficiências de referência por natureza de carga	64
Tabela 5 - Comparação das eficiências calculadas	66

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Estudos recentes com aplicação de DEA no setor portuário	19
Quadro 2 - Comparação dos rankings de eficiência	67

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANTAQ Agência Nacional de Transportes Aquaviários

BCC Banker, Charnes and Cooper

CCR Charnes, Cooper and Rhodes

DEA Data Envelopment Analysis

DMU Decision Making Unit

SEP Secretaria de Portos

ANCINE Agência Nacional do Cinema

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

ANVISA Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CNEN Comissão Nacional de Energia Nuclear

DECEX Departamento de Operações de Comércio Exterior

DFPC Diretoria de Fiscalização de Produtos Controlados

DPF Departamento de Polícia Federal

ECT Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos

IBAMA Ministério do Meio Ambiente

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MCT Ministério da Ciência e Tecnologia

SUFRAMA Superintendência da Zona Franca de Manaus

## 1 INTRODUÇÃO

Com intensificação do comércio internacional, um volume cada vez maior de mercadorias transita pelo mar.

Nesse contexto, os portos, que têm expressiva participação nos custos do transporte marítimo, têm grande influência na competitividade dos produtos e na sustentabilidade das economias. Por esse motivo, a eficiência portuária é um aspecto que vem ganhando cada vez mais importância.

Por definição, um porto é uma área abrigada em que ocorre a transferência de cargas e passageiros entre o mar e a costa, sendo essencialmente um elo entre dois modais de transporte (BORGO FILHO, 2008; CAMPOS NETO et al., 2009; TALLEY, 2012).

Os portos são projetados observando-se as características das embarcações que utilizam suas instalações. Além disso, são consideradas também as peculiaridades da natureza das cargas movimentadas – granel sólido, granel líquido, carga geral solta e contêineres.

Por isso, as características físicas estão entre os diferentes fatores que influenciam o desempenho de um porto – é o caso do calado permitido, tamanhos de berço, acessos, equipamentos utilizados e *layout* das instalações.

Porém, os investimentos demandam tempo e grande volume de recursos, o que reforça a necessidade de priorizar aspectos relativos à melhoria da eficiência.

A eficiência é um conceito que compara o que foi produzido com os recursos disponíveis com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos, medida que contribui para a análise do desempenho e identificação da solução para problemas dos sistemas produtivos (SOARES DE MELLO et al., 2005; ABREU et al., 2008).

Diferentes métodos podem ser aplicados para a análise de eficiência de unidades produtivas (COELLI et al., 2005). Entre eles, é crescente o emprego da Análise

Envoltória de Dados (DEA – Data Envelopment Analysis) (CHARNES, COOPER and RHODES, 1978).

DEA avalia o desempenho relativo de firmas, analisando se uma unidade combina seus insumos e produtos de maneira ótima para obter a máxima produtividade, em amostras homogêneas formadas por unidades pertencentes ao mesmo segmento de atividade.

O método tem sido amplamente utilizado nas análises do setor portuário, sobretudo devido às suas características de simplicidade de aplicação a processos complexos e com múltiplas entradas e saídas (WANG, SONG e CULLINANE, 2002).

Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência de portos multipropósito na movimentação de cargas em relação à infraestrutura aquaviária disponível. Para tanto, foi analisado um conjunto de 29 portos públicos marítimos brasileiros com a aplicação da técnica DEA.

As variáveis utilizadas foram: 1) calado máximo no canal de acesso e 2) extensão de acostagem, empregadas como *inputs*, e 3) total de carga movimentada, como *output*. O modelo DEA utilizado foi o BCC, com orientação a *output*. O cálculo das eficiências foi feito com uso do *software* SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão) versão 3.0, de Angulo Meza et al. (2005).

Como cada porto movimentou cargas de naturezas distintas, em diferentes proporções, verificou-se a ausência de homogeneidade entre as unidades da amostra, situação que demandou uma adequação na aplicação do modelo para evitar distorções comparativas.

Para tanto, foi proposto um procedimento de ponderação dos *outputs* das unidades, com a soma das parcelas referentes a cada natureza dividida pela respectiva "eficiência de referência". Com isso, foram consideras as limitações da produtividade possível de ser alcançada para cada carga.

No ranking obtido com o emprego do procedimento proposto verificou-se uma significativa melhora na classificação dos portos em que predominavam a movimentação de granéis líquidos, carga geral solta ou contêineres em relação aos que movimentaram maiores volumes de granéis sólidos.

A pesquisa foi estruturada em cinco capítulos.

No Capítulo 1 é apresentada uma breve introdução do trabalho, os objetivos e a justificativa da escolha do tema.

No Capítulo 2, a revisão bibliográfica aborda importância do transporte marítimo e o papel dos portos nesse contexto; os principais conceitos e características da organização e estrutura portuária; a importância da análise de desempenho no setor e os principais fatores relacionados; os principais conceitos e métodos relacionados à análise de eficiência e, por fim, traz a técnica Análise Envoltória de Dados, explicando as características do modelo e critérios a serem observados na sua aplicação.

No Capítulo 3, é apresentado o método de pesquisa, com informações sobre o estudo de caso e o modelo proposto.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com a aplicação do modelo à amostra selecionada, com a análise das unidades eficientes e das unidades que tiveram seu desempenho reduzido com o procedimento proposto.

No Capítulo 5, encontram-se as conclusões obtidas e as recomendações para estudos futuros.

#### 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é calcular a eficiência relativa de portos e terminais multipropósito, que são aqueles que têm como característica a produção baseada na movimentação de cargas de diferentes naturezas: granéis sólidos, granéis líquidos, carga geral solta ou carga geral conteinerizada – e o atendimento a embarcações de diferentes tipos.

Para tanto foi aplicado o modelo DEA-BCC (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984) a um conjunto de 29 portos públicos brasileiros, tendo como dados de entrada o calado máximo permitido no canal de acesso e a extensão da área de acostagem e como dado de saída a quantidade de carga movimentada no ano de 2013.

Os objetivos específicos, alcançados ao longo do desenvolvimento da pesquisa, foram:

- a) Identificar a eficiência portuária para cada natureza de carga;
- b) Propor um modelo para comparação de unidades de uma amostra não homogênea, com a aplicação da técnica Análise Envoltória de Dados (DEA) e
- c) Estabelecer o *ranking* do desempenho das instalações portuárias multipropósito, no uso da infraestrutura disponível.

Espera-se com isso, contribuir para a evolução da técnica DEA, bem como para o aprimoramento das análises de desempenho portuário, e para o avanço na discussão sobre oportunidades de melhorias no setor.

### 1.2 JUSTIFICATIVA

Um sistema portuário ineficiente e caro tem como consequência um ambiente pouco propício ao crescimento da atividade econômica e à atração de novos investimentos, o que por si só evidencia a importância da avaliação do desempenho para o setor.

A complexidade das operações portuárias, que envolvem múltiplas atividades e fatores, torna difícil a adoção de referências de desempenho no setor. Entretanto, a técnica Análise Envoltória de Dados permite a comparação entre instalações com relativa facilidade, motivo pelo qual vem sendo amplamente aplicada em pesquisas sobre eficiência portuária.

Entre os primeiros estudos sobre portos com a aplicação de DEA, está o trabalho de Roll e Hayuth (1993), que apresentou um modelo hipotético de comparação de desempenho entre 20 portos, a partir do qual diversas pesquisas se sucederam com o objetivo de realizar análises comparativas de eficiência entre portos.

O Quadro 1 apresenta alguns dos trabalhos mais recentes identificados na literatura, com uma apresentação resumida das principais características.

As conclusões obtidas nesses estudos, embora sejam importantes para as análises no setor, se limitam à comparação de portos especializados em algum tipo de carga – com predomínio de granéis sólidos e contêineres. Porém, como a especialização não é a realidade de muitos portos, verificou-se que a avaliação do desempenho de portos multipropósito poderia trazer uma importante contribuição para o setor.

Cabe lembrar, entretanto, que as limitações dos estudos se devem, por vezes, às restrições impostas pela própria técnica DEA, cuja aplicação requer que a amostra seja homogênea, ou seja, que as unidades desenvolvam atividades semelhantes, utilizando-se de processos produtivos similares. Por isso, com a escolha do tema também foi identificada a oportunidade de apresentar uma proposta de adequação da técnica para aplicação a amostras não homogêneas.

Assim, a escolha do tema se justifica não somente pela importância das análises de desempenho para o setor portuário, mas também pela escassez de estudos que comparem a eficiência de portos na movimentação de carga de diferentes naturezas e pela necessidade de adequações da técnica DEA que esse tipo de estudo requer, o que pode contribuir para o avanço das pesquisas nessa área.

Autores	Objetivos	Universo pesquisado	Inputs	Outputs	Modelo DEA
SOUZA JUNIOR et al. (2013)	Medir a eficiência dos portos da Região Nordeste do Brasil adotando o método DEA.	6 portos conteineiros e 15 portos graneleiros	Berço, produtividade, calado navios	Carga total movi mentada	CCR
LU e WANG (2012)	Analisar a eficiência operacional de portos conteineiros Asiáticos	31 portos conteineiros Asiáticos	Área de pátio, nº de guindastes, profundidade da água e comprimento de berço.	Taxa de movimentação / berço	CCR, BCC e Super Efficiency,
BICHOU (2013)	Avaliação da relação entre eficiência portuária e ambiente operacional	60 portos conteineiros	Área do terminal, LOA, índice de guindastes, ínidce de equipamentos, caminhoes e veículos, portões	Movimentação anual	CCR e BCC
MOKHTAR, K e SHAH, M. Z. (2013)	Medir a eficiência que contribui para o desenvolvimento econômico da Malásia.	6 terminais de conteiner da Malásia	Área total do terminal	Carga total movi mentada	CCR e BCC
CORTEZ et al. (2013)	Avaliar a eficiência da autoridades portuárias brasileiras	8 autoridades portuárias	Número de funcionários, custo operacional, investimento	faturamento e carga movimentada	CCR e BCC
ACOSTA, LIMA e SILVA (2011)	identificar benchmarkings em portos brasileiros utilizando a técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA)	27 portos públicos brasileiros	Extensão do canal de acesso, extensão do cais, área de armazenagem	Movimentação geral	всс
MARTINS e CRUZ (2011)	Analisar a eficiência do uso da infraestrutura dos terminais públicos de um porto organizado.	9 terminais	Calado máximo e extensão total do cais	Carga total movimentada	всс
BERTOLOTO e SOARES DE MELLO (2011)	Analisar a eficiência portos privativos brasileiros com características distintas.	48 portos e terminais	Extensão total dos berços (em metros) e o calado máximo	Carga total movimentada	всс
WANKE (2013)	Medir a eficiencia de portos brasileiros com a aplicação de DEA em dois estágios.	27 portos públicos brasileiros	Nº berços, área de armazenagem e área de pátio, nº de embarcações	№ de emabarcações, total de conteineres, total de graneis sólidos movimentados	network dea
WU e GOH (2010)	Comparar a eficiência entre portos conteineiros de mercados emergentes e de mercados de economia avançada.	21 mercados	Área do teminal, comprimento de acostagem e nº de equipamentos	№ de conteineres movimentados	CCR e BCC
NIAVIS e TSEKERIS (2012)	Medir e identificar os principais determinantes de eficiência técnica de portos conteineiros do sudeste da Europa.	30 portos conteineiros	Nº de berços, comprimento de acostagem, nº de guindastes	Conteineres movimentados	CCR e BCC

Quadro 1 - Estudos recentes com aplicação de DEA no setor portuário

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 TRANSPORTE MARÍTIMO

As trocas internacionais vêm adquirindo crescente importância, tornando-se pilares de sustentação para a maioria dos segmentos produtivos em diversos países. Nesse contexto, é importante destacar o papel do transporte marítimo, cujos avanços reduziram a distância entre produtores e consumidores e viabilizaram uma maior especialização das economias (CNT, 2012; UDERMAN, ROCHA E CAVALCANTE, 2012).

Como muitos países não fazem fronteira com os seus parceiros comerciais e a alternativa aeroviária é inadequada para o transporte de grandes lotes de carga, a navegação foi um fator determinante na definição do novo modelo de mercado globalizado, caracterizado por economias de escala e diferenciação de produtos (CNT, 2012; UDERMAN, ROCHA E CAVALCANTE, 2012).

Nas últimas décadas, os volumes transportados têm crescido com a intensificação do comércio global e a dispersão geográfica da produção e, com a evolução da organização industrial, muitos agentes da cadeia de suprimentos têm se engajado na integração de atividades para uma movimentação mais eficiente de cargas. Com isso, o transporte marítimo vem experimentando forte crescimento e profunda mudança, tornando o ambiente de negócios portuário mais desafiador (OECD, 2009).

Conhecido por sua versatilidade e pelos custos proporcionalmente reduzidos quando comparados aos de outros modais, o transporte aquaviário também apresenta como vantagens (CAMPOS NETO et al., 2009; CNT, 2012):

- O reduzido índice de poluição ao meio ambiente;
- O menor risco de acidentes e roubos;
- A maior vida útil da infraestrutura, dos equipamentos e dos veículos e

A interligação entre os continentes, o que favorece o comércio exterior.

Em volume, cerca de 80% do comércio mundial transita pelo mar. E para muitos países desenvolvidos, o papel do transporte marítimo supera 90% (UNCTAD, 2014).

Nesse cenário, os portos são tradicionalmente facilitadores do comércio internacional (WILMSMEIER, BERGQVIST AND CULLINANE, 2011).

No Brasil, os portos são a principal porta de entrada e saída de bens transacionados com outras nações, com participação expressiva, sobretudo nos casos de exportação de grandes volumes, como os granéis, principal tipo de carga. Em 2013, os portos marítimos foram responsáveis pelo escoamento de 98% do volume exportado, 84% do valor total de US\$ 242,2bilhões FOB (CNT, 2012; MDIC, 2014; ANTAQ, 2014 b).

Assim, tendo em vista que portos são uma das principais determinantes dos custos do transporte marítimo e considerando a expressiva participação do setor no comércio mundial, resulta que a eficiência portuária tem forte impacto sobre a competitividade dos produtos (SANCHEZ et al., 2003; NOTTEBOOM AND WINKEMANS, 2001; ROBINSON, 2002).

Nesse sentido, no mundo todo, as autoridades portuárias têm sido pressionadas pela melhoria do desempenho e redução das tarifas portuárias, de modo que seus serviços sejam competitivos em termos internacionais e sustentem um desenvolvimento baseado no comércio internacional (TONGZON, 1995; WANKE, 2009).

## 2.2 PORTOS: PRINCIPAIS CONCEITOS, ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA

Na definição clássica, sob o aspecto físico, o porto é um ancoradouro de navios, uma área abrigada das ondas e correntes e localizada, na maioria das vezes, à beira de um oceano, mar, lago ou rio (BORGO FILHO, 2008; CAMPOS NETO et. al, 2009).

Sob o aspecto do sistema geral de transportes, o porto é um traço de união entre dois tipos de transportes (BORGO FILHO, 2008).

Pela definição atual, o porto é o elo de importância na cadeia logística como terminal multimodal (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

Talley (2012) define porto como um lugar onde ocorre a transferência de cargas e passageiros, entre a via aquaviária e a costa. O porto é um nó em uma rede de transportes, que por sua vez é definida como um sistema espacial de nós e ligações ao longo do qual ocorre movimentação de cargas e passageiros.

Essa transferência pode ser de um navio para outro, de um trem para um navio, de um caminhão para um navio, e vice-versa, caracterizando o porto como uma estrutura intermodal por excelência (CAMPOS NETO et al., 2009).

Sob o aspecto legal brasileiro, o conceito de porto está pautado na definição dos seguintes termos (BRASIL, 2013):

- "I porto organizado: bem público construído e aparelhado para atender a necessidades de navegação, de movimentação de passageiros ou de movimentação e armazenagem de mercadorias, e cujo tráfego e operações portuárias estejam sob jurisdição de autoridade portuária;
- II área do porto organizado: área delimitada por ato do Poder Executivo que compreende as instalações portuárias e a infraestrutura de proteção e de acesso ao porto organizado;
- III instalação portuária: instalação localizada dentro ou fora da área do porto organizado e utilizada em movimentação de passageiros, em movimentação ou armazenagem de mercadorias, destinadas ou provenientes de transporte aquaviário;
- IV terminal de uso privado: instalação portuária explorada mediante autorização e localizada fora da área do porto organizado; "

O que define as bases do sistema portuário nacional, resumidamente formado por portos organizados, públicos, e terminais de uso privado.

Entre as principais funções dos portos, destacam-se: promover acesso marítimo adequado aos navios; garantir a segurança dos navios no acesso e na saída da bacia portuária e prover facilidades adequadas e eficientes para o escoamento das cargas (SILVA, 2010).

Uderman, Rocha e Cavalcante (2012) identificaram três dimensões portuárias relevantes, que se articulam e se interpenetram:

- a) Dimensão empresa, voltada para os interesses do cliente, para os indicadores de eficiência e para os níveis rentabilidade, considera que um dos requisitos para a conquista de novos mercados é a lucratividade em regime de concorrência.
- b) Dimensão elo da cadeia de valor, na qual o sistema portuário interfere no transporte marítimo, influenciando toda a cadeia produtiva. Nesse contexto, para garantir a competitividade, é fundamental para os usuários a redução dos custos portuários dentro da cadeia logística e de valor e a melhoria da qualidade dos serviços prestados, de modo a reduzir o chamado de "Custo Porto".
- c) Dimensão agente do desenvolvimento, em que o porto cumpre a função de atrair investimentos produtivos para áreas circunvizinhas, tornando-se um elemento capaz de influenciar os índices de crescimento da economia.

Em cada dimensão, verifica-se a dependência de condições operacionais, que determinam o nível de eficiência e repercutem nos seus objetivos.

Silva (2010) propõe a divisão das operações portuárias em dois ciclos operacionais: ciclo da carga e ciclo do veículo. Enquanto o primeiro é entendido como todo o processo que ocorre com a carga, desde sua transferência do navio para o terminal até o processo de expedição para o transporte terrestre, o segundo acontece basicamente dentro do navio, com início no momento da solicitação de transferência da carga do navio para o transporte terrestre, ou da recepção da carga do transporte terrestre para o navio, e término no momento em que o veículo recebe a autorização para sair da área do porto. O ciclo de carga pode ser decomposto em dois subciclos: carga ou descarga do navio e transporte cais/armazém ou vice-versa.

O estudo da CNT (2012) apresenta um esquema da movimentação de cargas por via marítima dividido em três etapas, conforme ilustrado na Figura 1.

A Etapa 1 diz respeito à chegada e à saída da carga no porto, que pode ocorrer por meio do transporte rodoviário ou ferroviário, sob a responsabilidade do embarcador, do transportador, ou de ambos.

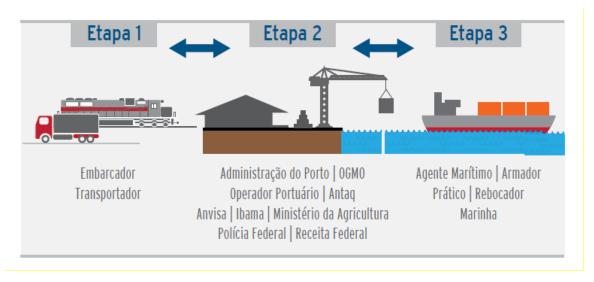


Figura 1 – Etapas na movimentação de cargas via transporte marítimo

Fonte: CNT (2012)

A Etapa 2 está relacionada com a movimentação da carga nas dependências do porto. Compete à Administração do Porto zelar para que os serviços se realizem com regularidade, eficiência, segurança e respeito ao meio ambiente. As operações de movimentação terrestre, embarque e desembarque de cargas são de responsabilidade dos operadores portuários, cabendo ao OGMO administrar o fornecimento da mão de obra do trabalhador portuário e do trabalhador portuário-avulso.

Na Etapa 3, ocorre a atracação e a desatracação do navio com o auxílio da praticagem e dos rebocadores. O armador é representado, junto às autoridades portuárias, pelo agente marítimo, que assume o gerenciamento do navio e realiza contatos com empresas transportadoras, terminais de contêineres, operadores portuários, entre outros. A Marinha, por intermédio da Diretoria de Portos e Costas, tem entre suas atribuições contribuir para a segurança do tráfego aquaviário e fiscalizar o cumprimento de leis e regulamentos no mar e águas interiores do Brasil.

No que se refere à estrutura, de acordo com Borgo Filho (2008), o porto pode ser dividido em três partes principais: o anteporto, o canal de acesso e o porto propriamente dito.

O anteporto é a área onde os navios fundeiam aguardando ordem para atracação, visita das autoridades aduaneiras, de saúde, ou quando procuram abrigo contra temporais.

O canal de acesso deve prover águas tranquilas e profundas que permitam que os navios-tipo, que são aqueles com maior porte previsto para operar no porto, possam navegar em condições de segurança.

O porto propriamente dito compreende, além da bacia de evolução, as instalações de acostagem (cais ou píers), pátios, armazéns, edifícios, acessos rodoferroviários e demais facilidades portuárias.

No trabalho desenvolvido por Campos Neto et al. (2009) é apresentada a diferenciação entre infraestrutura aguaviária. infraestrutura portuária superestrutura portuária. O primeiro caso é composto pelos canais de acesso aos portos, bacias de evolução, quebra-mares, hidrovias e berços de atracação. A infraestrutura portuária é composta pelos ativos fixos para a movimentação de cargas entre os navios e os modais terrestres: vias ferroviárias e rodoviárias, dutos e correias transportadoras, pátios dos terminais de embarque e desembarque de cargas e passageiros e pátios das áreas de armazenagem. Os equipamentos para movimentação e armazenagem de mercadorias, tais como guindastes, esteiras e armazéns, são conhecidos como superestrutura portuária sendo que, no Brasil, a maior parte é operada por empresas privadas que atuam como operadores portuários.

Os portos são projetados para atender a um tipo específico de embarcação, embora muitos portos pelo mundo possuam instalações multipropósito (BICHOU, 2013).

De acordo com AGÓS (1991), um terminal multipropósito pode ser definido como um complexo de infraestrutura, equipamentos e serviços que atende de forma flexível e combinada à demanda de certos tipos de embarcação e cargas, permitindo a melhor utilização de mão-de-obra e equipamentos.

Todo porto possui uma zona de influência, chamada hinterlândia, que pode ser definida como a área que pode ser alcançada com menor custo e no menor tempo que outro porto (WILMSMEIER, BERGQVIST AND CULLINANE, 2011).

Campos Neto (2006) apresentou a seguinte classificação para as áreas de influência dos portos brasileiros:

- a) Hinterlândia primária, definida pela área com participação de cada porto no comércio internacional da Unidade da Federação superior a 10% e cujos valores movimentados por Estado são iguais ou superiores a US\$ 100 milhões.
- b) Hinterlândia secundária, que abrange as Unidades da Federação cujos valores movimentados sejam maiores ou iguais a US\$ 100 milhões.
- c) Hinterlândia terciária, cujos percentuais de comércio exterior transacionados acima de 10% significam impacto relevante nas economias estaduais.

Com base nos estudos realizados na zona de influência do porto, são definidas as naturezas de carga a serem movimentadas nas instalações a serem projetadas, tais como granéis e cargas gerais, conteinerizadas ou soltas (BORGO FILHO, 2008).

A natureza da carga exige que sejam observadas suas peculiaridades nas operações, sendo que um porto é classificado de acordo com a carga predominantemente movimentada (TALLEY, 2012).

Os granéis são mercadorias não acondicionadas em embalagens, subdividindo-se em granéis sólidos e granéis líquidos. São graneis sólidos: os minérios de ferro, manganês, bauxita, carvão, sal, trigo, soja, fertilizantes etc. São exemplos de graneis líquidos o petróleo e seus subprodutos e os óleos vegetais (SEP, 2014 b).

Segundo Borgo Filho (2008), as instalações destinadas à movimentação granéis sólidos, dada a uniformidade da carga e a repetitividade das operações, permitem a utilização intensiva de equipamentos especializados e baixo emprego de mão-de-obra, com altas taxas de rendimento operacional.

As instalações para granéis líquidos são similares às de granéis sólidos, consistindo normalmente por estruturas de atracação e amarração acrescidas de uma plataforma onde são instalados os equipamentos de carregamento ou descarregamento e estação de bombeamento.

Carga geral deve ser entendida como mercadorias sem uniformidade de embalagem, forma, peso e volume, não classificadas no grupo de granéis (BORGO, 2008; SEP, 2014 b).

Borgo Filho (2008) destaca, entretanto que, apesar da definição, a eventualidade na operação pode determinar que uma mercadoria, que seja específica num porto, seja classificada como geral em outro. Se a quantidade de carga movimentada for pequena ou classificada como eventual, sua descarga será feita com o auxílio de caçambas descarregadas em vagões ou caminhões nas instalações de carga geral.

O contêiner é a evolução da operação da carga geral, devido à sua padronização em módulos econômicos, que permitem a utilização intensiva de equipamentos nas operações de carga e descarga, contribuindo para o aumento da eficiência das operações e para a diminuição dos custos, sobretudo de estadia dos navios (BORGO FILHO, 2008). Contêineres são equipamentos que servem de meio de transporte para diversos tipos de produtos, permitindo a pulverização das origens e destinos (BNDES, 2012).

As instalações portuárias para contêineres se caracterizam pela necessidade de amplos espaços para a movimentação dos equipamentos utilizados no seu manuseio, além dos pátios de estocagem, estações de consolidação e desconsolidação, acessos rodoferroviários, áreas de manobras, portarias de controle e balanças rodoferroviárias (BORGO FILHO, 2008).

As infraestruturas aquaviária e portuária são construídas para atender a uso determinado, que pode ser o atendimento de embarque e desembarque de passageiros, cargas ou ambos, podendo ainda ser destinadas à movimentação de cargas específicas. O fim a que se destinam determina suas características.

Mas mesmo em portos movimentadores de um único tipo de carga, os terminais podem ser projetados e operados de forma diferente, pois, além das restrições físicas, como tamanho de cais, profundidade de berço e tamanho de terminal, muitas das características dos terminais são determinadas por tipologias e configurações dos sistemas de cais e pátio (BICHOU, 2013).

## 2.3 DESEMPENHO PORTUÁRIO

Enquanto a eficiência portuária é um importante instrumento de facilitação do comércio, as deficiências imputam perdas expressivas a empresas dependentes dessa modalidade de transporte, à medida que o porto se constitui em fator de competitividade fundamental em muitos ramos (BLONIGEN AND WILSON 2008; UDERMAN, ROCHA E CAVALCANTE, 2012).

Um sistema portuário ineficiente e caro implica custos adicionais significativos para uma série de empreendimentos produtivos e, como consequência, um ambiente pouco propício ao crescimento da atividade econômica e à atração de novos investimentos. Assim, implantar um sistema portuário moderno e eficiente, capaz de garantir um comércio de mercadorias ágil e de baixo custo, é uma estratégia de fundamental importância para a aquisição de vantagens competitivas (UDERMAN, ROCHA E CAVALCANTE; 2012).

Wanke (2009 b) afirma que o entendimento dos principais fatores determinantes da produtividade nos terminais pode ajudar no seu planejamento. De acordo com Wilmsmeier, Bergqvist and Cullinane (2011), como os portos representam a ligação entre redes logísticas e de transporte, necessitam encontrar certos requerimentos no futuro influenciados pelo número de restrições e direcionadores externos.

Em um porto, uma miríade de atividades é realizada e cada uma está sujeita a atrasos e interrupções que se somam ao tempo total dos processos. Para uma boa gestão de desempenho é fundamental identificar e controlar os processos críticos responsáveis pelo cumprimento dos objetivos da organização (CARDOSO, 2011).

Para Borgo Filho (2008), a eficiência operacional de um porto é função de variáveis como as características físicas do porto, a disponibilidade de áreas para expansão, seus acessos, sua posição em relação aos aglomerados urbanos, o layout das instalações, os equipamentos utilizados, seus recursos humanos e a estrutura organizacional do porto.

Segundo o mesmo autor, a eficiência operacional do porto pode ser medida pelo tempo de estadia do navio, ou especificamente, pelo seu rendimento operacional,

que é normalmente expressso em várias unidades (toneladas embarcadas por navio e por dia, por terno e por hora, por metro de cais-ano etc).

Aronietis, Van de Voorde e Vanelslander (2010) afirmam que um conjunto considerável de fatores influenciam na decisão de escolha do porto: custo, localização, qualidade da operação, reputação, velocidade / tempo, infraestrutura e disponibilidade de facilidades, eficiência, frequência de navios, sistemas informatizados, hinterlândia e conexão com outros modais e congestionamentos.

Os autores afirmam ainda que para os operadores de terminais os critérios mencionados como importantes são infraestrutura e facilidades portuárias, qualidade das operações / reputação, custos, locação, conexões com hinterlândia, sistemas de Informação, congestionamentos e eficiência.

De acordo com o Campos Neto et al. (2009), integram o conjunto dos variáveis que representam maior competitividade para os portos: calados que atendam a navios de grande porte; berços maiores e especializados no tratamento da carga; mecanização e automação do manuseio da carga e sistemas eficientes de controle e informação. Por esse motivo, a deficiência de infraestrutura compromete o potencial do setor.

Por tudo isso, a mensuração da infraestrutura portuária em termos de eficiência global é considerada uma das principais ferramentas de planejamento do comércio internacional (FLEURY E HIJJAR, 2008; WANKE, 2009 a).

No Brasil, o desempenho da infraestrutura aquaviária brasileira está aquém da esperada, o que tem levado o governo a buscar soluções para reduzir os gargalos operacionais, jurídicos e institucionais do setor. Exemplo disso são as significativas mudanças pelas quais passou o sistema portuário brasileiro nos últimos anos (CNT, 2012).

Porém, deve ser lembrado que a expansão da capacidade portuária, assim como todos os demais investimentos em infraestrutura, consome um razoável tempo de planejamento e execução, não conseguindo ser executada "de uma hora para outra" (WANKE, 2009 b).

Além disso, não é incomum que os investimentos requeridos mostrem-se superiores à capacidade financeira e gerencial das unidades portuárias, contrapondo-se aos esforços de ampliação dos níveis de produtividade e eficiência (CNI, 2007).

Contudo, o estabelecimento de parâmetros e a avaliação de desempenho entre portos nem sempre é uma tarefa fácil.

Conforme Wanke (2009 b), as operações portuárias são complexas por natureza e a maneira como os recursos são utilizados não ocorre de forma homogênea com o crescimento do volume e, por isso surgem os gargalos operacionais.

De acordo com Cardoso (2011), a maior parte dos autores atribui a complexidade das operações aos inúmeros fatores incontroláveis. Tal fato, somado ao modo ímpar com que as variações dos elementos naturais e operacionais impactam os sistemas torna difícil a adoção de referências de desempenho no setor.

Segundo Ferreira, Mendes Júnior e Carnieri (2007), devido à grande complexidade e interdependência das partes do sistema, melhorias localizadas podem ser irrelevantes no desempenho portuário como um todo. Assim, o processo de descarga de grãos, por exemplo, poderá simplesmente antecipar a lotação dos silos, caso não se incremente na mesma proporção o embarque das mercadorias nos navios.

Além disso, os mesmos autores destacam o conflito existente nos objetivos de um sistema portuário, que deve apresentar alta eficiência, com elevada utilização dos berços, mas também reduzidos tempos de espera de atracação para os navios, o que depende da ociosidade dos berços.

Os portos, tradicionalmente, avaliam sua performance pela comparação entre as taxas reais e ideais. Se o desempenho real se aproxima do ideal ao longo do tempo, a conclusão é que sua performance melhorou (TALLEY, 2012).

Vários estudos comparam portos usando o desempenho selecionado e o critério ou medida de eficiência. Entretanto, essas medidas parcialmente refletem diferentes aspectos da operação portuária e falham em prover uma medida geral da eficiência portuária (TONGZON, 2001).

## 2.4 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA

O processo de produção é uma técnica por meio da qual um ou mais produtos são obtidos a partir de determinadas quantidades de insumos (FERREIRA e GOMES; 2009).

Segundo Ferreira e Gomes (2009), denomina-se função de produção a relação que indica a quantidade máxima que se pode obter de um produto, por unidade de tempo, a partir da utilização de determinada quantidade de fatores de produção e da escolha de um método de produção. Os mesmos autores afirmam que a análise microeconômica da produção recorre ao conceito econômico de função de produção estática, expresso por uma equação matemática que sintetiza uma relação entre os insumos clássicos (mão-de-obra, máquinas, equipamentos, matéria-prima, energia etc) e os produtos gerados no processo de transformação dos bens e serviços, em determinado momento.

A Figura 2 apresenta a fronteira da eficiência, em que o eixo X representa os Recursos; Y representa a Produção; a curva S, chamada Fronteira de Eficiência, indica o máximo que foi produzido para cada nível de recurso. A região abaixo da curva é chamada de Conjunto Viável de Produção.

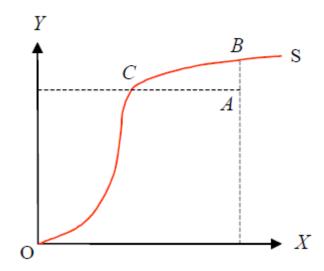


Figura 2 - Produtividade X Eficiência

Fonte: SOARES DE MELLO et al. (2005)

As firmas eficientes são aquelas que se posicionam sobre a fronteira, mas isso não significa que elas sejam perfeitas, sem desperdícios, mas sim que conseguem produzir o máximo possível, dadas as suas restrições. Tanto o excesso de utilização de insumo quanto a escassez de produção se denomina folga. Sempre que ocorrer folga de insumos ou de produtos, a produção está sendo ineficiente. As firmas que estão abaixo da fronteira são ineficientes. (VARIAN, 1994).

Segundo Soares de Mello et al. (2005), uma unidade não eficiente torna-se eficiente reduzindo os recursos e mantendo constantes os produtos (orientação a *inputs*), mantendo constantes os recursos e aumentando os produtos (orientação a *outputs*), ou mesclando os dois processos.

Na Figura 3 são apresentadas as duas formas de alcançar a eficiência de interesse para esse estudo. Seja a fronteira de eficiência definida por f(x), a DMU ineficiente P precisa alcançar o ponto B se quiser tornar-se eficiente reduzindo recursos, ou se deslocar até o ponto D, se preferir aumentar os produtos.

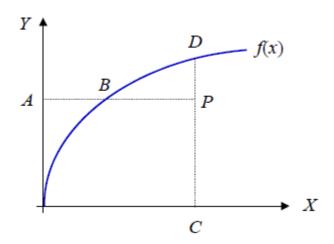


Figura 3 - Alcance da fronteira de eficiência

Fonte: SOARES DE MELLO et al. (2005)

No primeiro caso, a eficiência é definida pelo quociente AB/AP e é um número entre 0 e 1. Já no segundo caso, a eficiência é dada por CP/CD que também é um valor entre 0 e 1.

A fim de evitar equívocos e distorções nas análises, é fundamental conceituar os termos relacionados a desempenho, proporcionando a adequada diferenciação entre eles.

Segundo Ferreira (1988), eficácia é a qualidade daquilo que produz o efeito desejado. Soares de Mello et al. (2005) ressalta que, em razão desse desejo, denominado meta, ser subjetivo, a avaliação da eficácia é baseada em opiniões dependentes das expectativas criadas. O autor também destaca que essa definição se relaciona apenas ao que é produzido, sem considerar os recursos utilizados.

Outro conceito importante é o da produtividade, que, segundo Ferreira (1988), é a relação entre a quantidade ou valor produzido e a quantidade ou valor dos insumos aplicados à produção.

Segundo Soares de Mello et al. (2005), a produtividade decorre das decisões tomadas sobre o aproveitamento dos recursos, sejam eles tecnologias avançadas, mão-de-obra qualificada, técnicas gerenciais, entre outros. Por esse motivo, as unidades produtoras são denominadas, na literatura, Unidades Tomadoras de Decisão, ou DMU, da sigla em inglês de *Decision Making Unit*.

A eficiência é um conceito relativo, que compara o que foi produzido com os recursos disponíveis com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos (SOARES DE MELLO et al., 2005).

Tendo em vista que a definição de eficiência está sempre associada a insumos e produtos, é possível diferenciá-la de acordo com o foco dado a cada um desses aspectos. Assim, na eficiência orientada a insumos, considera-se eficiente a DMU que produz determinada quantidade de produtos com a menor quantidade de insumos, enquanto na medida da eficiência orientada a produtos, considera-se eficiente a DMU que, com uma quantidade de insumos determinada é capaz de produzir maior quantidade de produtos (SOARES DE MELLO et al., 2005).

De acordo com Abreu et al. (2008), conhecer a medida da eficiência de determinado sistema de produção contribui para a identificação das causas de problemas e para a definição de soluções.

Mas a adequada análise do desempenho exige conhecimento sobre os diferentes tipos de eficiência definidos na literatura, entre os quais se encontram:

- a) Eficiência produtiva;
- b) Eficiência técnica;
- c) Eficiência de escala;
- d) Eficiência alocativa e
- e) Eficiência total.

De acordo com Belloni (2000), a eficiência produtiva se refere à capacidade da organização de produzir um máximo de resultados com um mínimo de recursos. O conceito está relacionado à habilidade de evitar desperdícios, produzindo tantos resultados quanto os recursos utilizados permitirem ou utilizando o mínimo possível de recursos para aquela produção, com o objetivo de obter ganhos de produtividade.

A avaliação da eficiência produtiva origina-se dos trabalhos de T.C. Koopmans e G. Debreu (1951) e foi estendida por Farrel (1957).

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) ampliaram os estudos de Farrel, dando origem à técnica conhecida como Análise por Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis-DEA), que permite decompor a eficiência produtiva em eficiência técnica e eficiência de escala (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984). Essa decomposição permite mensurar as magnitudes das duas componentes e estimar o impacto de ações corretivas na redução das ineficiências (BELLONI, 2000).

A eficiência técnica é a habilidade de uma unidade atingir o máximo de produção dado um número de insumos (COELLI et al., 2003) e está associada à habilidade gerencial da organização (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984).

Trata-se de uma medida comparativa entre o que foi produzido por unidade de insumo utilizado com o que poderia ser produzido, ou seja, uma comparação entre a relação produção/insumo realizada e a relação produção/insumo mais adequada (FERREIRA e GOMES, 2009).

Segundo Lovell e Schimidt (1993), a eficiência técnica é um critério que permite comparar o desempenho de unidades de produção de diferentes naturezas.

A eficiência de escala mede o grau em que uma firma consegue otimizar o tamanho de suas operações (COELLI et al., 2003). Trata-se de um conceito associado a variações da produtividade decorrentes de mudanças na escala de produção (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984), podendo ser identificado quando no aumento das quantidades de todos os fatores produtivos na mesma proporção ocorre o aumento da quantidade produzida.

Conforme Wanke e Affonso (2011), a eficiência de escala pode ser empregada para determinar o quão próximo uma unidade está do seu correspondente tamanho de escala mais produtivo, sendo, por isso, uma definição importante para a comparação de diferentes firmas.

A eficiência alocativa, ou eficiência econômica, diz respeito à habilidade de uma unidade decisória em escolher a combinação de insumos e/ou de produtos mais adequada, dados os preços e a tecnologia disponível (COELLI et al., 2003).

Assim, um processo de produção de uma unidade é economicamente eficiente se permitir a produção em um mesmo nível que outras unidades com menor custo (FERREIRA e GOMES, 2009).

Conforme analisado por Ferreira e Gomes (2009), a ineficiência técnica orientada a insumo resulta da utilização excessiva dos insumos, enquanto a ineficiência alocativa orientada a insumos resulta da utilização de proporções inadequadas dos insumos, dados os seus preços relativos, quando a taxa marginal de substituição entre os insumos não é igual à razão dos seus preços de compra. Segundo os mesmos autores, a ineficiência técnica orientada a produtos resulta da produção escassa dos produtos e a ineficiência alocativa orientada a produtos resulta da produção de proporções inadequadas dos produtos, dados os seus preços relativos, quando a taxa marginal de substituição entre os produtos não é igual à razão dos seus preços de venda.

Ramos (2007) destaca que pode não ser muito conveniente considerar apenas a ideia da eficiência técnica para classificar as firmas como eficientes e que, para fins estratégicos, a meta de uma firma deveria conduzi-la pra o verdadeiro *benchmark*, o da eficiência técnica e alocativa.

Para essa análise, Farrel sugeriu o conceito de eficiência total ou eficiência geral, que mede a combinação entre as eficiências técnica e alocativa e é calculada como o produto das duas medidas (RAMOS, 2007; FERREIRA e GOMES, 2009).

#### 2.4.1 Medidas de eficiência

Segundo Coelli et al. (2005), são quatro os principais métodos de análise da eficiência e produtividade:

- a) Os modelos econométricos de mínimos quadrados de produção;
- b) A produtividade total de fatores (TFP);
- c) A análise envoltória de dados (DEA);
- d) A análise de fronteira estocástica (SFA).

Esses métodos podem ser classificados em dois grupos: os métodos estatísticos paramétricos (a) e d)), que supõem uma relação funcional entre a produção e os insumos e utilizam como suporte medidas de tendência central, e os métodos não-paramétricos (b) e c)), que não fazem nenhuma suposição funcional e consideram que a referência sobre o máximo que poderia ter sido produzido é obtido por meio da observação das unidades mais produtivas (FERREIRA e GOMES, 2009; SOARES DE MELLO et al., 2005).

De acordo com Coelli et al. (2005), os modelos econométricos de mínimos quadrados e o método TFP são normalmente aplicados com séries de tempo agregadas e demonstram medidas de mudanças técnicas e/ou produtividade total de fatores. Ambos os métodos assumem que todas as firmas são tecnicamente eficientes. Já os métodos DEA e SFA são aplicáveis geralmente a dados de uma amostra de firmas e disponibilizam medidas de eficiência relativa entre essas firmas. Os dois métodos não assumem que todas as firmas sejam eficientes.

O método DEA, que é a técnica de interesse desta pesquisa, é uma abordagem que busca medir a eficiência produtiva de unidade de produção com múltiplos produtos e múltiplos insumos.

DEA foi desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) com a aplicação de programação linear ao método proposto por Farrel (1957), do que resultou o modelo CCR.

Tem sido grande a variedade de aplicações de DEA para uso na avaliação dos desempenhos dos diversos tipos de entidades, em atividades e contextos diferentes. Uma das razões é que a técnica possibilita a análise de processos com complexas e muitas vezes desconhecidas relações entre as múltiplas entradas e saídas (COOPER, SEIFORD AND TONE, 2007).

Mariano, Almeida e Rebelatto (2006) identificaram cerca de 27 campos de aplicação para a técnica DEA e afirmam que essas aplicações determinaram a evolução da técnica por meio da criação de modelos e modelagens.

E a aplicação da técnica tem se destacado também no setor portuário, possibilitando a comparação de eficiências entre terminais, fornecendo *benchmarks* e contribuindo para que os gestores identifiquem os gargalos existentes e as melhorias cabíveis (WANG, SONG AND CULLINANE, 2002).

# 2.5 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

# 2.5.1 Definição e características do modelo

A Análise Envoltória de Dados, ou DEA, da sigla de Data Envelopment Analysis, avalia o desempenho relativo de unidades produtivas, em situações em que não sejam considerados os aspectos financeiros (EMROUZNEJAD, 2005; SOARES DE MELLO et al., 2005; FERREIRA e GOMES, 2009).

Trata-se de um método que utiliza a programação linear para a construção de uma fronteira de eficiência a partir de uma amostra. De acordo com Moreira (2011), a programação linear é um modelo matemático estruturado para resolver problemas

que apresentem variáveis que possam ser medidas e cujos relacionamentos possam ser expressos por meio de equações e/ou inequações lineares.

DEA otimiza cada observação individualmente com base em suposições prévias definidas com respeito ao desempenho conhecido dos demais elementos da amostra analisada e determina a fronteira da eficiência com as unidades que são Pareto eficientes, que são aquelas que não conseguem melhorar alguma de suas características sem piorar as demais (GOLANY AND ROLL, 1989; SOARES DE MELLO et al., 2005).

A ferramenta é capaz de identificar as melhores práticas no uso de recursos e calcular os índices individuais de eficiência, que avaliam se uma unidade combina seus insumos e produtos de maneira ótima para obter a máxima produtividade. A comparação é um fator importante, pois a avaliação do desempenho só tem significado quando os dados são confrontados com um padrão de comparação. Entretanto, cabe destacar a necessidade de que a amostra seja homogênea e formada por unidades pertencentes ao mesmo segmento de atividade (MARIANO, ALMEIDA e REBELATTO, 2006; JUBRAN, 2006).

Os principais objetivos da técnica DEA são identificar as DMUs eficientes, medir e localizar a ineficiência, estimar uma função de produção linear por partes (*piece-wise linear frontier*) e determinar a eficiência relativa das DMUs, contemplando cada uma relativamente a todas as outras que compõem o grupo a ser estudado (GOLANY e ROLL, 1989; SOARES DE MELLO et al., 2005).

A eficiência varia entre 0 e 1, sendo que as firmas mais eficientes recebem a pontuação máxima e se encontram sobre a fronteira. Para as unidades ineficientes, DEA cria uma projeção sobre a fronteira, chamada de "alvo" (target), e as firmas sobre a fronteira escolhidas para comparação são chamadas de benchmarks.

Em um modelo de um insumo (input) e um produto (output) em que a fronteira de eficiência é uma reta que passa pela origem e de declividade igual à produtividade da DMU mais produtiva, a DMU eficiente é representada pelo ponto de coordenada (Xef, Yef). Seja O(Xo, Yo) uma DMU ineficiente, assumindo-se a orientação a inputs, o ponto O'' é a projeção de O no eixo Y e o ponto O' é a projeção de O na fronteira eficiente. A figura 4 ilustra o conceito.

Considerando o ponto O''(0, Yo), é possível afirmar que Xo' = Yo Xef / Yef e Yo' = Yo são as coordenadas de O'. Assim, a eficiência de O é Ef = O'O'' / O''O.

Tendo em vista que o numerador de Ef é abcissa de O' e que o denominador é a abcissa de O, vem que:

$$Ef = \frac{\left(Yo\frac{Xef}{Yef}\right)}{Xo} = \frac{Yo}{Xo}\frac{1}{\frac{Yef}{Xef}} = \frac{P0}{Pef}$$
 (1)

Do que se pode constatar que a eficiência de uma DMU é a razão entre a sua produtividade (P0) e a produtividade da DMU mais eficiente (Pef).

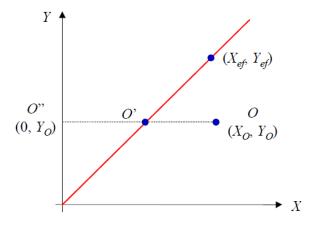


Figura 4 - Exemplo com inputs e outputs únicos

Fonte: SOARES DE MELLO et al., 2005

Para os casos de múltiplas entradas e saídas é feita a atribuição de pesos aos fatores de entradas e saídas para cada unidade produtiva. Com isso, a eficiência é uma quantidade ligada ao quociente entre uma soma ponderada dos produtos e uma soma ponderada dos recursos, cujos pesos, para cada DMU, são escolhidos de forma que maximizem essa razão.

Para que o resultado da eficiência seja um número entre 0 e 1, os pesos u e v atribuídos a uma DMU ineficiente, representada por O(Xo, Yo), e às outras, sendo k o total de DMUs, não podem dar um quociente superior à unidade. Tais considerações levam ao problema de programação matemática apresentado em (2).

$$Maximizar \frac{uYo}{vXo}$$
 (2)

Sujeito a

$$\frac{uYk}{vXk} \leq 1, para\ todo\ k$$

Cuja restrição é aplicada tantas vezes quantas o número de DMUs, ou seja, é uma restrição para cada DMU. Além disso, é imposta também a restrição de não negatividade aos pesos  $u \, e \, v$  (SOARES DE MELLO et al., 2005).

Como há uma infinidade de valores das variáveis de decisão que conduzem a um mesmo resultado, opta-se por não calcular o valor de cada variável, mas apenas o da sua razão, que deve ser a maior possível, limitada pela restrição mais forte, que é a restrição referente à DMU mais produtiva.

Para essa DMU, o maior valor da razão entre as variáveis de decisão  $\mu Y \ ef / \nu X \ ef = 1$  conduz a Ef = Po / Pef, que é o mesmo valor encontrado anteriormente.

Entre os modelos DEA, dois são considerados clássicos e são comumente citados: o CCR (CHARNES, COOPER AND RHODES, 1978), que desconsidera ganhos de escala, e o BCC (BANKER, CHARNES AND COOPER, 1984), que compara apenas unidades que operam com escalas semelhantes (SOARES DE MELLO et al., 2005; LINS e CALÔBA, 2006; FERREIRA e GOMES, 2009).

O CCR ou CRS (constant returns to scale) utiliza retornos constantes de escala, isto é, qualquer variação na entrada produz variação proporcional na saída. Sua aplicação considera que o tamanho das firmas não impacta em sua eficiência sendo,

por isso, adequado quando todas as unidades estão operando numa escala ótima (PINDYCK e RUBINFELD, 2002; SOARES DE MELLO et al., 2005).

Em muitos casos, porém, não há previsão de proporcionalidade entre insumos e produtos. Assim, foi proposto o modelo BCC ou VRS (*variable returns to scale*), que considera retornos variáveis de escala (BANKER, CHARNES AND COOPER, 1984).

O modelo BCC compara apenas DMUs que operam em escala semelhante. Assim, a eficiência de uma DMU é obtida dividindo-se sua produtividade pela maior produtividade dentre as DMUs que apresentam o mesmo tipo de retorno à escala. Com isso, a fronteira BCC apresenta retas de ângulos variados, o que caracteriza uma fronteira linear por partes (MARIANO, ALMEIDA e REBELATTO, 2006).

Assim, a principal diferença entre os modelos matemáticos do DEA é em relação ao formato da fronteira e ao tipo de retorno a escala (MARIANO, ALMEIDA e REBELATTO, 2006). Cabe observar que, geralmente, o valor da eficiência do modelo CCR não supera o valor da eficiência do modelo BCC (COOPER, SEIFORD e TONE, 2000).

Na aplicação dos modelos, é necessário definir sobre a orientação a produto (*output*) ou a insumo (*input*).

Nos modelos orientados a insumos admite-se que as produções permaneçam constantes e que os insumos variem para atingir a fronteira de produção eficiente. Nesse caso, o modelo busca responder qual a redução que pode ocorrer nos *inputs* de modo a manter o corrente nível de *outputs* (COELLI et al., 1998; FERREIRA e GOMES, 2009).

Nos modelos orientados a produto, considera-se que os insumos permaneçam constantes enquanto as produções variam para atingir a fronteira da produção eficiente. Na orientação para a maximização dos *outputs*, procura-se identificar o maior nível de *outputs* que se pode alcançar mantendo-se o nível dos *inputs* constante (COELLI, 1998; FERREIRA e GOMES, 2009).

No caso do modelo utilizado ser o CCR, nas duas orientações obtêm-se os mesmos valores de eficiência. Já para o modelo BCC, cada orientação conduzirá a diferentes

valores de eficiência, o que se explica pelo fato dos insumos e dos produtos não serem proporcionais (MARIANO, ALMEIDA e REBELATTO (2006).

O gráfico apresentado na Figura 5 apresenta as fronteiras BCC e CCR.

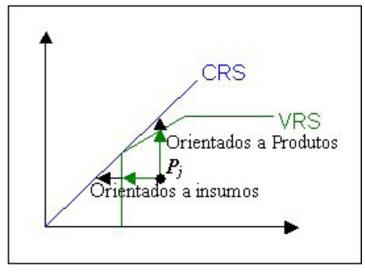


Figura 5 - Representação das fronteiras BCC e CCR

Fonte: SOUZA E WILHELM (2009)

O entendimento das características do modelo de Análise Envoltória de Dados é importante para a análise e avaliação de seus resultados. Dentre as principais, cabe citar:

- a) Não exige a determinação de relações funcionais entre os insumos e os produtos (FERREIRA e GOMES, 2009);
- b) Não se restringe a medidas únicas, singulares dos insumos e produtos e permite utilizar variáveis discricionárias, instrumentais ou de decisão, variáveis não discricionárias ou exógenas (fixas), e categóricas (tipo dummies) em suas aplicações (FERREIRA e GOMES, 2009);
- c) Subsidia estratégias de produção que maximizem a eficiência das DMUs avaliadas, corrigindo as ineficientes através da determinação de alvos (SOARES DE MELLO et al., 2005);
- d) Identifica as unidades referência (benchmarks) para as organizações que não têm um desempenho eficiente (SILVEIRA, ANGULO MEZA e SOARES DE MELLO, 2012);

- e) Permite fazer ordenações sem depender de opiniões de decisores, pelo resultado das eficiências, podendo ser usada como ferramenta Multicritério de apoio à decisão (SOARES DE MELLO et al., 2005);
- f) Na ausência de um número suficiente de unidades similares e, consequentemente, de informações suficientes para comparação, uma DMU é declarada eficiente por default (SOUSA e RAMOS, 1999);
- g) A presença de *outliers* pode influenciar a mensuração dos índices de eficiência (SOUSA e RAMOS, 1999);
- h) Apresenta dificuldade de discriminação das unidades, pois é extremamente benevolente com as unidades avaliadas (SOARES DE MELLO et al., 2005);
- i) Em qualquer modelo DEA, a DMU que apresentar a melhor relação output / input será sempre eficiente (SOARES DE MELLO et al., 2005).

Os componentes das aplicações DEA e os critérios para sua definição são a seguir detalhados.

# 2.5.2 Modelagem em DEA

Uma modelagem pode ser definida como os diferentes aspectos que um modelo de uma técnica pode assumir e são obtidas por meio de manipulações e simplificações matemáticas que não alteram as hipóteses sob as quais se sustenta o modelo (MARIANO, ALMEIDA e REBELATTO, 2006).

As três principais fases do processo de modelagem em DEA e implementação do problema são definição e seleção de DMUs, determinação dos *inputs* e *outputs*, chamados variáveis do problema e a escolha do modelo (GOLANY e ROLL, 1989; ANGULO MEZA, 1998). Cada uma dessas fases inclui diversos passos, detalhados a seguir.

#### 2.5.2.1 Seleção de DMUs

As unidades que farão parte do conjunto a ser analisado pela aplicação DEA devem possuir a mesma natureza e serem avaliadas pelo mesmo conjunto de *inputs* e *outputs* (GOLANY e ROLL, 1989).

De acordo com Golany and Roll (1989), a seleção das DMUs é afetada por dois aspectos: pelas características organizacionais, físicas ou regionais que definem as unidades individuais e pelos períodos de tempo usados na medição das atividades. No que se refere ao tamanho dos períodos, é importante observar que períodos longos podem ofuscar mudanças ocorridas e que períodos curtos podem dar uma visão incompleta das atividades.

Na seleção da amostra é importante lembrar que DEA leva em consideração as boas práticas, mas que dados imprecisos podem levar a desvios nas análises. Com isso, cabe ainda destacar a importância da separação das unidades consideradas *outliers*, o que deve ser feito com cuidado e, se necessário, ouvindo-se a opinião de especialistas (GOLANY e ROLL, 1989).

A técnica DEA é utilizada para avaliação da eficiência relativa de unidades comparáveis, com uma visão para melhorar seu desempenho, do que se assume que as diferenças no desempenho de unidades semelhantes existem e são mensuráveis. Nesse contexto, na seleção da amostra, buscam-se unidades em que as comparações façam sentido e nas quais seja possível identificar as diferenças (GOLANY e ROLL, 1989). Assim, é necessário ainda observar a homogeneidade do conjunto estudado.

De acordo com Angulo Meza (1998), um conjunto homogêneo realiza as mesmas tarefas, com os mesmos objetivos, trabalhando nas mesmas condições de mercado e com autonomia na tomada de decisões.

Sousa e Ramos (1999) e Dyson et al. (2001) afirmam que a homogeneidade da amostra presume que as DMUs produzem produtos e serviços comparáveis entre si e que têm a sua disposição recursos similares.

Golany e Roll (1989) descreve um grupo homogêneo de unidades como aquele em que:

- a) As unidades consideradas desempenham as mesmas atividades, com objetivos similares;
- b) Todas as unidades atuam sob as mesmas condições de mercado;
- c) As variáveis (tanto *input* quanto *output*) que caracterizam o desempenho de todas as unidades no grupo, são idênticos, exceto pelas diferenças de intensidade ou magnitude.

Os mesmos autores sugerem que para as análises dos resultados de eficiência seja feita a divisão de grupos de DMUs em categorias, de acordo com algumas características que não entraram na composição do modelo como um fator determinante da relação *input-output*, com o propósito de obter uma avaliação por comparação de unidades que operem sob condições similares.

Quanto à quantidade de unidades analisadas, se por um lado, o maior número de unidades aumenta a probabilidade de capturar unidades de alto desempenho que determinam a fronteira de eficiência, por outro, quanto maior número de unidades, menor a homogeneidade do grupo (GOLANY e ROLL, 1989).

Um grande conjunto de unidades permite identificação mais apurada das típicas relações entre *input*s e *output*s do conjunto, além de permitir a incorporação de mais variáveis na análise. Entretanto, amostras maiores aumentam a possibilidade de que os resultados sejam afetados por fatores externos que não sejam do interesse da análise.

Existem algumas recomendações na literatura para a definição do tamanho da amostra. De acordo com Bowlin et al., 1987; Ali et al., 1988, o número de unidades deve ser pelo menos duas vezes o número de *inputs* e *output*s considerado. Gomes (2005) sugere que o número de DMUs seja pelo menos o dobro ou o triplo do número de variáveis. Soares de Mello et al. (2005) recomenda que o número de DMUs deve ser de pelo menos  $2m \ x \ s$ , onde  $m \ x \ s$  é o produto do número de *input*s pelo número de *output*s.

#### 2.5.2.2 Seleção de variáveis

A seleção de variáveis é um dos pontos principais da modelagem em DEA.

Conforme Senra et al. (2007), o fato de uma diferente escolha de variáveis conduzir a resultados diferentes não deve ser interpretado como uma fraqueza de DEA, mas como uma oportunidade de análise do problema por uma dimensão diferente.

As variáveis são diferenciadas entre *inputs*, *output*s ou fatores que podem ser alocados em ambos os lados da relação da produção. Conforme Sousa e Ramos (1999), os *input*s e os *output*s escolhidos devem cobrir todos os recursos usados e devem capturar todos os níveis de atividades e medidas de desempenho.

Considerando que quanto maior o valor do *output* ou quanto menor o valor do *input*, maior a eficiência, em situação diferente ocorre o problema dos *inputs* ou *outputs* indesejados. Assim, um ponto a ser observado está no fato de que nem sempre insumos e produtos devem ser considerados *inputs* e *outputs*, respectivamente (GOMES, 2005).

As variáveis podem ser quantitativas ou qualitativas. Com relação às variáveis qualitativas dois aspectos requerem atenção: a necessidade de transformá-las em dados quantitativos e a redução da subjetividade na mensuração da eficiência (SOUZA e RAMOS, 1999).

A lista inicial de variáveis a serem consideradas na avaliação de desempenho das DMUs deve ser a mais ampla possível, a partir de uma lista de possíveis variáveis ligadas ao modelo, que permitam ter maior conhecimento sobre as unidades a serem avaliadas e expliquem melhor suas diferenças (ANGULO MEZA,1998). Todas as dimensões que podem afetar as DMUs a serem avaliadas devem ser incluídas na lista inicial, sendo possível que tais fatores sejam total ou parcialmente controlados pelas unidades ou que sejam fatores ambientais fora de controle (GOLANY e ROLL, 1989).

A fim de evitar distorções nos resultados, uma questão a ser evitada na seleção de variáveis é a mistura de índices com valores absolutos (GOLANY e ROLL, 1989).

Todas as variáveis que suportem o desempenho das DMUS analisadas devem ser listadas, o que pode resultar num grande número de variáveis na lista (SENRA et al., 2007; ABREU et al. 2008). Porém, como uma ampla lista de variáveis relevantes é usualmente compilada, pode ocorrer repetição de informações, preterimento de informações consideradas cruciais ou levantamento de dados conflitantes (GOLANY e ROLL, 1989).

A análise prévia de possíveis conjuntos de variáveis é uma etapa fundamental, com base na opinião conjunta de decisores, especialistas e analistas (SENRA et al., 2007; ABREU et al. 2008).

Algumas abordagens podem ser utilizadas para o problema de seleção de variáveis, como métodos estatísticos e as técnicas multicritério (SOARES DE MELLO et al., 2002; SENRA et al., 2004).

Golany e Roll (1989) propuseram um procedimento de redução da lista inicial para uma que inclua apenas os fatores mais relevantes, que devem distinguir claramente as unidades comparadas e atender de forma efetiva aos objetivos da análise. O refinamento da lista pode ser executado em três passos: julgamento inicial, análise quantitativa e análise baseada em DEA.

Os métodos de seleção de variáveis devem ser vistos como instrumentos de auxílio à decisão, que orientarão a escolha final. A escolha, porém, não deve ficar presa ao resultado de um modelo matemático, por mais sofisticado que seja. Sempre deve ser feita em conjunto pelos agentes de decisão, especialistas e analistas, que poderão (ou não) usar um método de seleção como ferramenta.

Entretanto, em qualquer método os resultados devem ser analisados quanto à sua coerência, verificando-se se não foi omitida nenhuma variável imprescindível e se há relação causal entre os pares *input-output* selecionados. (SENRA et al., 2007).

Caso o número de DMUs seja pequeno, o uso de um grande número de variáveis pode comprometer os resultados das eficiências (SENRA et al., 2007; ABREU et al. 2008).

Uma fragilidade clássica da técnica DEA é a sua baixa capacidade de ordenar as DMUs - um modelo com muitas variáveis tende a ser benevolente, com muitas

DMUs alcançando o *score* 1(máxima eficiência) (SOARES DE MELLO et al., 2005; SENRA et al., 2007). A fim de evitar que um grande número de DMUs se localize na fronteira, recomenda-se o uso equilibrado da quantidade de variáveis e DMUs escolhidas, visando aumentar o poder discriminatório do DEA (SOARES DE MELLO et al., 2005).

Para a redução do número de *outputs* é sugerida a eliminação de medidas de desempenho que não estejam fortemente relacionadas com os objetivos da organização. Por outro lado, a omissão de variáveis fortemente correlacionadas pode ocasionar alterações significativas no resultado das eficiências (SOARES DE MELLO et al., 2005).

Quando há preferências entre os *inputs* e/ou *output*s, por parte dos agentes de decisão, julgamentos de valor são incorporados aos modelos DEA por meio de restrições aos pesos (ou multiplicadores) associados aos *inputs* e/ou aos *outputs* das unidades avaliadas (SOARES DE MELLO et al., 2005).

#### 2.5.2.3 Seleção e aplicação do modelo

A aplicação dos diferentes modelos e formulações depende das circunstâncias predominantes no caso em estudo, sendo que nem todos os modelos são aplicáveis a todos os casos e que alguns são específicos para determinados objetivos de análise (GOLANY e ROLL, 1989).

Conforme já mencionado, a eficiência total compara uma DMU com todas as suas concorrentes enquanto a eficiência técnica compara uma DMU apenas com aquelas que operam em escala semelhante. Com isso, a eficiência técnica é considerada uma componente da eficiência total, sendo que a outra componente é a eficiência de escala, relacionada ao fato da empresa estar operando abaixo ou acima de sua escala ótima.

Devido à diferença entre o tipo de retorno a escala, os modelos CCR e BCC calculam tipos diferentes de eficiência: a eficiência total é calculada pelo modelo

CCR e a eficiência técnica é calculada pelo modelo BCC (MARIANO, ALMEIDA e REBELATTO, 2006).

O modelo CCR produz índices menores em virtude de sua hipótese de proporcionalidade. O modelo BCC, que apresenta retornos variáveis de escala, envolve melhor os dados (JUBRAN, 2006), pois considera a diferença de escala das variáveis.

Uma outra visão das medidas de eficiência relativa pode ser obtida pela imposição de restrições adicionais aos modelos padrão, no caso de informações adicionais disponíveis ou de testes de hipóteses específicas. Além disso, uma perspectiva adicional pode ser obtida acrescentando aos dados observados alguma referência externa, obtida de unidades comparáveis fora do grupo analisado ou de padrões de referência. Essa comparação serve para superar a limitação de ter apenas eficiências relativas dentro do grupo analisado (GOLANY e ROLL, 1989).

# 3 EFICIÊNCIA DE PORTOS MULTIPROPÓSITO COM A APLICAÇÃO DE DEA

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a eficiência relativa de portos multipropósito com a aplicação da técnica DEA.

Como objetivo específico, pretende-se obter referências sobre eficiência portuária para cada natureza de carga, propor um procedimento para aplicação da técnica DEA a conjuntos de portos e terminais não homogêneos e estabelecer o *ranking* de desempenho do conjunto analisado no que se refere ao uso da infraestrutura disponível.

A pesquisa foi desenvolvida com uma abordagem quantitativa do problema, baseada em dados de 29 portos organizados marítimos brasileiros e refere-se ao seu desempenho no ano de 2013. Os dados utilizados na modelagem foram obtidos junto à Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2014 a) e à Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP, 2014 a). O papel de ambas as fontes na fiscalização e regulação do setor portuário garantiu a confiabilidade e padronização dos dados.

Como a técnica DEA faz uma comparação relativa entre unidades, alterações no conjunto pesquisado podem provocar alterações nos resultados. Com isso, não há garantias de que as conclusões obtidas possam ser estendidas para outros portos e terminais, cabendo, no entanto, uma análise para entendimento das condições que deram causa ao resultado.

## 3.1 UNIVERSO PESQUISADO

Segundo a Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP/PR), entidade que atua na formulação de políticas e diretrizes para o desenvolvimento e o fomento do setor portuário (SEP, 2015), existem 37 portos públicos organizados no Brasil. Nessa categoria, encontram-se os portos com administração exercida pela União, no

caso das Companhias Docas, ou delegada a municípios, estados ou consórcios públicos.

A amostra analisada nesta pesquisa é composta por um conjunto de 29 portos organizados marítimos brasileiros. Pela classificação da SEP (2015), é considerado marítimo o porto que recebe embarcações de linhas oceânicas.

Essa delimitação do universo de pesquisa levou em consideração os seguintes critérios: a disponibilidade dos dados e a semelhança nas características de gestão e exploração dos empreendimentos.

Os dados sobre gestão e infraestrutura dos portos foram obtidos da SEP (2014 a) e dados sobre produção foram obtidos da ANTAQ (2014 a).

Como todas as instalações analisadas estão submetidas às mesmas regras de administração e exploração, considerou-se que o conjunto é homogêneo do ponto de vista de gestão e que as diferenças no seu desempenho ocorrem devido ao diferente uso de recursos na produção (BERTOLOTO, 2010).

## 3.1.1 Análise dos Portos Organizados em 2013

De acordo com a ANTAQ (2014 b), a movimentação total de cargas nas instalações portuárias brasileiras no ano de 2013 foi de 931 milhões de toneladas, apresentando um incremento relativo de 2,9% e absoluto de 26,6 milhões de toneladas em relação ao ano de 2012.

2013 foi um ano de lenta recuperação da economia internacional, de queda do preço das *commodities* e de baixo crescimento do PIB brasileiro. Foi também um ano em que o país apresentou uma supersafra de produtos agrícolas. Esses fatores, de uma maneira geral, influenciaram o desempenho da movimentação de cargas no transporte aquaviário brasileiro. A Tabela 1 apresenta as principais informações sobre a movimentação de cargas nos portos e terminais brasileiros no ano de 2013.

A movimentação de granel sólido representou 61,1% do total de cargas movimentadas no ano de 2013, desempenho 2,6% superior ao observado em 2012.

Em 2013, do incremento total de 26,6 milhões de toneladas observado em relação a 2012, os granéis sólidos foram responsáveis pelo acréscimo de 14,4 milhões de toneladas, com destaque para a movimentação de soja (acréscimo de 9,7 milhões de toneladas), de milho (acréscimo de 5,7 milhões de toneladas) e fertilizantes e adubos (acréscimo de 2,1 milhões de toneladas).

Tabela 1 - Movimentação de cargas nos portos e terminais brasileiros em 2013

Cruna /Ana	2011			2012			2013		
Grupo/Ano	Ton.	%	Var. %	Ton.	%	Var. %	Ton.	%	Var. %
1. Natureza da Carga									
Granel Sólido	543.108.088	61,33	7,60	554.574.789	61,32	2,00	569.011.946	61,12	2,60
Granel Líquido	212.302.167	23,97	0,90	217.457.055	24,04	2,30	219.986.671	23,63	1,20
Carga Geral	130.149.953	14,70	9,60	132.368.941	14,64	1,70	142.046.580	15,26	7,30
Total	885.560.208	100,00	6,20	904.400.785	100,00	2,10	931.045.197	100,00	2,90
2. Tipo de Navegação									
Longo Curso	657.677.377	74,27	6,80	670.481.914	74,14	1,90	685.843.602	73,66	2,30
Cabotagem	193.392.534	21,84	4,10	201.241.130	22,25	3,90	204.657.928	21,98	1,70
Navegação Interior	31.638.112	3,57	11,50	30.034.325	3,32	-5,50	35.215.806	3,78	17,30
Apoio Marítimo	1.520.588	0,17	-28,00	1.570.801	0,17	0,50	3.888.514	0,42	147,50
Apoio Portuário	1.331.601	0,15	-12,90	1.072.617	0,12	-19,40	1.439.351	0,15	34,20
Total	885.560.212	100,00	6,20	904.400.787	100,00	2,10	931.045.201	100,00	2,90
3. Instalações									
Portos Organizados	309.007.269	34,89	7,00	316.841.434	35,03	2,30	338.277.606	36,33	6,80
Terminais de uso Privado	576.552.943	65,11	5,80	587.559.353	64,97	1,90	592.767.596	63,67	0,90
Total	885.560.212	100,00	6,20	904.400.787	100,00	2,10	931.045.202	100,00	2,90
4. Sentido									
Embarque	593.177.264	66,98	5,50	606.416.833	67,05	2,20	620.317.312	66,63	2,30
Desembarque	292.382.948	33,02	7,50	297.983.954	32,95	1,80	310.727.889	33,37	4,30
Total	885.560.212	100,00	6,20	904.400.787	100,00	2,10	931.045.201	100,00	2,90

Fonte: ANTAQ (2014 b)

Em 2013, a movimentação de granel líquido apresentou um crescimento de 1,2% em relação a 2012, registrando a movimentação de 192,5 milhões de toneladas. O desempenho dos granéis líquidos é preponderantemente determinado pelo mercado de combustíveis, óleos minerais e produtos, que sofreu redução de 3,8 milhões de toneladas no ano. Houve crescimento de 8,2% das importações desses produtos para suprimento da demanda interna, o que representou 38,9 milhões de toneladas, no entanto, as exportações dessas mercadorias apresentaram uma retração acentuada de 34,8%, com a movimentação de 13,5 milhões de toneladas exportadas.

A movimentação de carga geral apresentou um bom desempenho no comparativo entre os anos de 2013 e 2012, com crescimento de 7,3%. No entanto, esse desempenho não ocorreu de forma equilibrada entre as cargas gerais soltas e as cargas gerais conteinerizadas: enquanto no primeiro caso ocorreu um decréscimo de 2,2% no comparativo anual, que representou uma queda na movimentação de 1 milhão de toneladas, no último registrou-se um desempenho excepcional, com crescimento de 12,2%, incremento de 10,7 milhões de toneladas movimentadas em relação a 2012.

O gráfico na Figura 6 apresenta a evolução da movimentação de carga, por natureza, entre os anos 2011 e 2013.

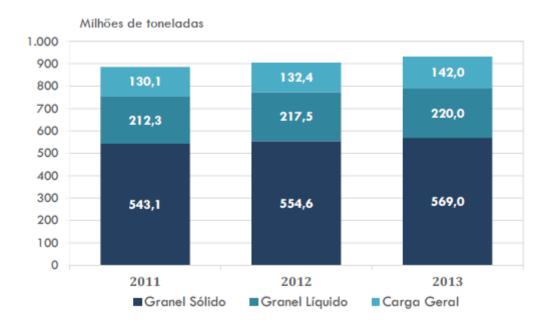


Figura 6 - Gráfico da evolução da movimentação de carga

Fonte: ANTAQ (2014 b)

A movimentação de cargas nos portos organizados foi de 338,3 milhões de toneladas, volume 6,8% superior ao de 2012, concentrando 36,3% da movimentação de cargas das instalações portuárias brasileiras.

Cinco portos foram responsáveis pela maior parte da movimentação total de cargas nos portos organizados. Juntos, os portos de Santos, Itaguaí, Paranaguá, Rio Grande e Itaqui movimentaram 235,9 milhões de toneladas, o que representou cerca de 70% da movimentação total.

A Figura 7 apresenta a evolução da movimentação de cargas nos principais portos, entre 2010 e 2013.

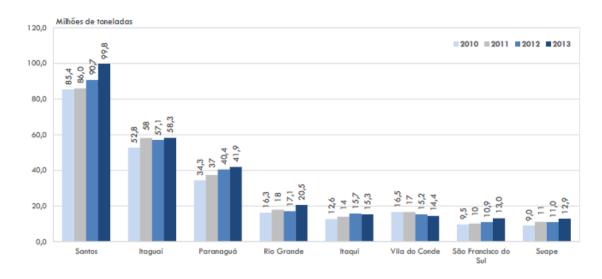


Figura 7 - Evolução da movimentação de cargas nos principais portos

Fonte: ANTAQ (2014 b)

Em termos de toneladas movimentadas, o porto de Santos foi o porto que apresentou a participação mais expressiva entre os portos organizados (29,5%) e um crescimento de 10%, fechando o ano de 2013 com a movimentação de 99,8 milhões de toneladas. Santos apresentou um incremento de 9,1 milhões de toneladas em sua movimentação total de cargas comparativamente a 2012, com destaque para a movimentação de contêineres, açúcar, soja e milho. Esses números consideram apenas o porto organizado, sem contabilizar a movimentação dos terminais de uso privado em Santos.

O porto de Itaguaí, com a segunda maior taxa de participação na movimentação dos portos organizados (17,2%), apresentou um incremento de 2,2% em relação ao ano de 2012.

Em seguida, destacaram-se os portos de Paranaguá e Rio Grande, com taxas de crescimento de, respectivamente, 3,6% e 20,3% em relação a 2012. O incremento

de 3,4 milhões de toneladas que o porto de Rio Grande apresentou deve-se, principalmente, ao escoamento da supersafra de soja de 2013.

O porto de Itaqui foi responsável pela movimentação de 15,3 milhões de toneladas em 2013, apresentando um decréscimo de 2,6% em relação ao ano anterior.

# 3.2 MÉTODO PROPOSTO

Tendo em vista o principal objetivo da atividade portuária, o modelo proposto avalia a eficiência na movimentação de cargas com os recursos disponíveis, não se atendo a questões de ordem econômico-financeira ou administrativa das autoridades portuárias.

É importante observar, porém, que cabe aos portos públicos prover a infraestrutura necessária para as operações e que aspectos relacionados à mão-de-obra portuária e equipamentos não são de sua responsabilidade. Por esse motivo, não há registros oficiais sobre esses dois últimos fatores, o que dificulta o acesso aos dados e limita a sua confiabilidade.

Nesse contexto, optou-se por considerar nesta pesquisa apenas as variáveis monitoradas pelos portos públicos, embora outros fatores possam ter impacto na eficiência da movimentação de cargas.

Dada a disponibilidade dos dados, o conjunto de variáveis com potencial para ser utilizado no modelo incluiu calado máximo no canal de acesso, extensão de acostagem, tempo de espera para atracação, tempo atracado, tempo de operação, tempo de estadia, prancha média, consignação média e carga total movimentada.

A partir dessa lista inicial, as variáveis selecionadas foram calado máximo no canal de acesso e extensão de acostagem, empregadas como entradas do modelo, e total de carga movimentada, empregada como saída.

Os fatores relacionados a tempo sofrem influência de diferentes atores externos, intervenientes ou anuentes, que fogem ao controle da administração dos portos.

De acordo com a Receita Federal do Brasil (2012):

"Considera-se interveniente do comércio exterior, o importador, o exportador, o beneficiário de regime aduaneiro ou de procedimento simplificado, o despachante aduaneiro e seus ajudantes, o transportador, o agente de carga, o operador de transporte multimodal (OTM), o operador portuário, o depositário, o administrador de recinto alfandegado, o perito, o assistente técnico, ou qualquer outra pessoa que tenha relação, direta ou indireta, com a operação de comércio exterior."

O Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (2015), define como agentes anuentes os órgãos que atuam, dentro de suas competências, de forma independente, mas em alguns casos simultânea, no controle administrativo da entrada de produtos específicos em território aduaneiro brasileiro, com a função de analisar licenças de importação registradas pelos importadores. A lista de agentes anuentes inclui: Agência Nacional do Cinema (ANCINE), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional de Petróleo (ANP), Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Departamento de Operações de Comércio Exterior (DECEX), Exército Brasileiro -Diretoria de Fiscalização de Produtos Controlados (DFPC), Departamento Nacional de Produção Mineral do Ministério de Minas e Energia (DNPM), Departamento de Polícia Federal do Ministério da Justiça (DPF), Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT), Ministério do Meio Ambiente (IBAMA), Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA).

Em decorrência da atuação desses atores, as operações de atracação e de desatracação não dependem apenas da disponibilidade de berço e de condições de tráfego, o que pode afetar os indicadores de tempo. Além disso, limitações nos acessos terrestres, qualidade da mão-de-obra e fatores meteorológicos também impactam no tempo das operações de transbordo e de transporte terrestre, influenciando o desempenho portuário.

Por esse motivo, optou-se por não incluir as variáveis relacionadas a tempo no modelo proposto.

A fim de evitar o emprego simultâneo de índices e valores absolutos, os indicadores prancha (quantidade de carga movimentada / hora de operação) e consignação média (quantidade de carga movimentada / navio) também foram excluídos, pois o emprego destas variáveis fariam com que os dados sobre movimentação de carga fosse utilizados de forma repetida.

A Figura 8 ilustra o modelo proposto, que buscou capturar os aspectos mais relevantes da atividade, sem que a complexidade de sua construção se tornasse elevada, e com a abrangência necessária para fornecer informações sobre o problema estudado (FERREIRA, MENDES JUNIOR e CARNIERI, 2007).

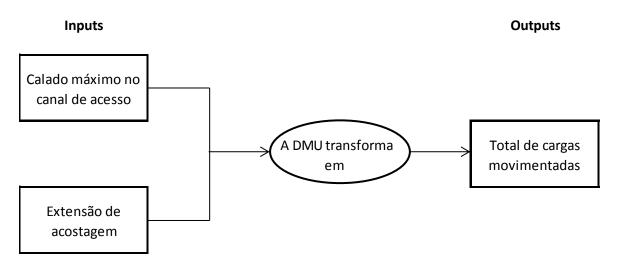


Figura 8 - Modelo de movimentação de cargas

As definições e as características das variáveis do modelo são a seguir apresentadas:

- a) Variáveis de entrada (*Inputs*):
- a.1) Calado máximo (MARTINS E CRUZ, 2014; SOUZA JÚNIOR et al., 2013; BICHOU, 2013; BERTOLOTO E SOARES DE MELLO, 2011; MARTINS E CRUZ, 2011): medida em metros, essa variável indica o porte máximo das embarcações que têm permissão para trafegar pelo canal de acesso de um porto e que,

consequentemente, podem utilizar suas instalações (BORGO FILHO, 2008; BERTOLOTO, 2010) e, por isso, tem relação com a quantidade de carga movimentada num porto.

- a.2) Extensão de acostagem (MARTINS E CRUZ, 2014; SOUZA JÚNIOR et al., 2013; BICHOU, 2013; BERTOLOTO E SOARES DE MELLO, 2011; MARTINS E CRUZ, 2011): essa variável, também medida em metros, é o comprimento da estrutura disponível para atracação, dado que indica o porte (BORGO FILHO, 2008; BERTOLOTO, 2010) e número de embarcações atracadas e que, por isso, guarda relação com a quantidade de carga movimentada num porto.
- b) Variáveis de saída (*output*)
- b.1) Total de carga movimentada (MARTINS E CRUZ, 2014; SOUZA JÚNIOR et al., 2013, BICHOU, 2013; BERTOLOTO E SOARES DE MELLO, 2011; MARTINS E CRUZ, 2011): medida em toneladas, a variável abrange todas as cargas movimentadas nos portos (granéis sólidos e líquidos, carga solta e peso bruto de contêiner).

Cada porto, com sua movimentação anual, foi considerado uma Unidade Tomadora de Decisão. A Tabela 2 apresenta o conjunto de portos com as respectivas variáveis.

Tabela 2 - Variáveis utilizadas no modelo

Instalação	Canal de	Acostagem	Carga bruta	
•	acesso	· ·	(ton)	
Portuária	(m)	(m)		
Angra dos Reis	12,00	400,00	4.852,00	
Antonina	4,40	425,00	1.560.210,00	
Aratu	18,00	1.810,00	5.825.662,00	
Belém	9,00	1.295,00	2.641.578,00	
Cabedelo	11,00	602,00	1.899.288,00	
Forno	12,00	300,00	208.592,00	
Fortaleza	10,00	1.206,00	5.160.653,00	
Ilhéus	10,00	432,00	393.491,00	
Imbituba	10,50	905,00	2.492.024,00	
Itaguaí	17,00	2.210,00	55.765.300,00	
Itajaí	11,00	1.035,00	4.014.174,00	
Itaqui	27,00	1.671,00	15.166.949,00	
Macapá	30,00	620,00	1.661.447,00	
Maceió	10,50	1.057,00	2.581.558,00	
Natal	10,00	540,00	419.304,00	
Niterói	7,50	430,00	2.145,00	
Paranaguá	13,00	3.016,00	41.709.537,00	
Porto Alegre	8,50	7.555,00	709.192,00	
Recife	8,80	2.950,00	1.708.285,00	
Rio de Janeiro	17,00	6.740,00	8.123.140,00	
Rio Grande	10,00	4.144,00	16.214.262,00	
Salvador	15,00	2.092,00	3.900.854,00	
Santarém	10,00	520,00	2.570.598,00	
Santos	12,20	13.000,00	92.233.751,00	
São Francisco do Sul	14,00	1.530,00	13.021.418,00	
São Sebastião	25,00	362,00	590.847,00	
Suape	16,50	3.200,00	12.074.361,00	
Vila do Conde	9,00	2.295,00	14.314.921,00	
Vitória	10,50	2.868,00	5.049.458,00	

60

Tendo em vista que cada DMU movimentou cargas de naturezas distintas, em

diferentes proporções, admite-se que cada unidade pode fazer uso diferente dos

recursos de produção. Assim, o conjunto de portos não é considerado homogêneo,

situação que pode comprometer a comparação entre as unidades, apresentada na

tabela anterior, já que a homogeneidade das DMUs é um dos requisitos para a

obtenção de resultados confiáveis com o emprego da técnica DEA.

Como a eficiência é, por definição, a razão entre a produtividade alcançada e a

produtividade possível, na comparação entre unidades especializadas em diferentes

naturezas de cargas, considera-se que a produtividade possível é a da carga mais

produtiva.

Assim:

$$En = \frac{P1n}{P0N} \tag{3}$$

Em que:

En: Eficiência na movimentação da carga de natureza n

P1n: Produtividade alcançada para a carga de natureza n

PON: Maior produtividade observada entre todas as cargas

Porém, devido às limitações de produtividade de cada carga, torna-se necessário considerar uma produtividade de fato possível P0n. Tendo em vista que P0n pode ser escrita como um percentual da produtividade P0N, e que esse percentual equivale à eficiência máxima para a carga n, Enref, aqui denominada eficiência de

referência, o *output* deve ser equalizado por meio da divisão por *Enref*.

Com isso:

$$Enref = \frac{P0n}{P0N} \tag{4}$$

Em que:

Enref: Eficiência de referência na movimentação da carga de natureza n

P0n: Produtividade possível para a carga de natureza n

Equalizando-se o output para o cálculo da eficiência, vem que:

$$En \ eq = \frac{P1n}{\frac{P0n}{P0N}}$$

$$En \ eq = \frac{P1n}{Enref}$$
 (5)

Em que:

En eq: Eficiência equalizada da carga de natureza n

A carga total embarcada ou descarregada em um porto multipropósito é o somatório das parcelas referentes a cada natureza de carga movimentada. Assim, o total de cargas movimentado por cada unidade da amostra, que representa sua produtividade anual, foi recalculado, com a soma das parcelas referentes a cada natureza dividida pela respectiva "eficiência de referência". O valor do *output* recalculado foi denominado "*output ponderado*":

$$Output\ ponderado = \frac{P1n1}{En1ref} + \frac{P1n2}{En2ref} + \frac{P1n3}{En3ref} + \frac{P1n4}{En4ref}$$
(6)

Em que:

P1n1: Produtividade alcançada para a carga granel sólido

En1ref: Eficiência de referência na movimentação da carga granel sólido

P1n2: Produtividade alcançada para a carga granel líquido

En2ref: Eficiência de referência na movimentação da carga granel líquido

P1n3: Produtividade alcançada para a carga geral solta

En3ref: Eficiência de referência na movimentação da carga geral solta

P1n4: Produtividade alcançada para a carga conteinerizada

En4ref: Eficiência de referência na movimentação da carga conteinerizada

A proposta de ponderação do *output* segue o princípio do *handicap*, ou seja, dar vantagem à partida ao "competidor" em desvantagem (GOMES, SOARES DE MELLO E FREITAS, 2007).

Foram calculadas as eficiências dos portos com os *output*s originais, que passaram a ser denominados *output*s absolutos (Tabela 3). Para a obtenção da eficiência de referência, *Enref*, os portos foram classificados de acordo com a natureza de carga mais movimentada e, em seguida, foi calculada a média das eficiências para cada carga (Tabela 4).

Tabela 3 - Classificação dos portos e eficiência na movimentação das cargas

Porto Organizado	Classificação	Eficiência Padrão
Angra dos Reis	Granel sólido	1,48%
Antonina	Granel sólido	100,00%
Aratu	Granel líquido	11,99%
Belém	Granel líquido	13,35%
Cabedelo	Granel sólido	15,42%
Forno	Granel sólido	100,00%
Fortaleza	Granel líquido	19,45%
Ilheus	Granel sólido	5,53%
Imbituba	Granel sólido	12,81%
Itaguaí	Granel sólido	100,00%
Itajaí	Contêiner	18,08%
Itaqui	Granel sólido	33,88%
Macapá	Granel sólido	8,71%
Maceió	Granel sólido	11,09%
Natal	Contêiner	7,92%
Niterói	Carga geral	5,06%
Paranaguá	Granel sólido	87,09%
Porto Alegre	Granel sólido	1,88%
Recife	Granel sólido	5,31%
Rio de Janeiro	Contêiner	10,91%
Rio Grande	Granel sólido	48,32%
Salvador	Contêiner	8,08%
Sanatrém	Granel sólido	47,28%
Santos	Granel sólido	100,00%
Sao Francisco do Sul	Granel sólido	33,85%
São Sebastião	Granel sólido	100,00%
Suape	Granel líquido	20,90%
Vila do Conde	Granel sólido	49,36%
Vitória	Contêiner	13,28%

Tabela 4 – Eficiências de referência por natureza de carga

Tipo de carga	Média das eficiências	
Granel sólido	47,81%	
Granel líquido	13,43%	
Contêiner	11,65%	
Carga Geral	5,06%	

Analisando-se os valores da Tabela 4, observou-se que os portos movimentadores de granéis sólidos apresentaram a maior média das eficiências, com 47,81 %, seguidos dos movimentadores de granéis líquidos, com 13,43 %, dos movimentadores de contêiner, com 11,65 %, e dos movimentadores de carga geral solta, com 5,06%.

O modelo DEA foi aplicado à amostra com os *output*s ponderados e os resultados foram comparados com os obtidos para amostra com *output*s absolutos.

O cálculo das eficiências dos portos públicos foi feito com uso do *software* SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão) versão 3.0, de Angulo Meza et al. (2005), desenvolvido para calcular todos resultados dos modelos DEA clássicos - eficiência, pesos, alvos, *benchmarks* e folgas.

O modelo utilizado foi o BCC, uma vez que estão sendo analisadas instalações de diferentes portes e que não há presunção de proporcionalidade na relação entre infraestrutura aquaviária (*inputs*) e total de carga movimentada (*output*). Com isso, foram calculadas as eficiências técnicas das unidades.

O cálculo da eficiência foi orientado a *output*, a fim de avaliar como os recursos disponíveis estão sendo aproveitados na produção.

Com isso, o procedimento proposto pode ser descrito como a sequência das seguintes etapas:

 1a) Aplicação do modelo DEA ao conjunto de portos para o cálculo das eficiênciaspadrão, com os inputs e outputs levantados;

- 2ª) Classificação dos portos de acordo com a natureza de carga mais movimentada;
- 3ª) Cálculo da eficiência média por grupo, que será utilizada como eficiência de referência para cada natureza de carga;
- 4ª) Cálculo dos *output*s ponderados de cada DMU, obtido pela soma da parcela referente à movimentação de cada carga dividida pela respectiva eficiência de referência;
- 5ª) Aplicação do modelo DEA ao conjunto de portos com os *outputs* ponderados e
- 6ª) Comparação entre os resultados obtidos na 1ª e na 5ª etapas.

# 4 RESULTADOS

A Tabela 5 apresenta a comparação das eficiências calculadas para *outputs* absolutos e ponderados.

Tabela 5 - Comparação das eficiências calculadas

		Eficiência	Eficiência	
Porto Organizado	Classificação	outputs	outputs	
		absolutos	ponderados	
Angra dos Reis	Granel sólido	1,48%	1,86%	
Antonina	Granel sólido	100,00%	100,00%	
Aratu	Granel líquido	11,99%	25,05%	
Belém	Granel líquido	13,35%	36,59%	
Cabedelo	Granel sólido	15,42%	17,02%	
Forno	Granel sólido	100,00%	100,00%	
Fortaleza	Granel líquido	19,45%	48,29%	
Ilheus	Granel sólido	5,53%	5,71%	
Imbituba	Granel sólido	12,81%	14,22%	
Itaguaí	Granel sólido	100,00%	99,41%	
Itajaí	Contêiner	18,08%	51,18%	
Itaqui	Granel sólido	33,88%	54,33%	
Macapá	Granel sólido	8,71%	8,24%	
Maceió	Granel sólido	11,09%	15,17%	
Natal	Contêiner	7,92%	13,94%	
Niterói	Carga geral	5,06%	14,00%	
Paranaguá	Granel sólido	87,09%	100,00%	
Porto Alegre	Granel sólido	1,88%	0,74%	
Recife	Granel sólido	5,31%	8,09%	
Rio de Janeiro	Contêiner	10,91%	22,78%	
Rio Grande	Granel sólido	48,32%	61,51%	
Salvador	Contêiner	8,08%	23,95%	
Sanatrém	Granel sólido	47,28%	26,44%	
Santos	Granel sólido	100,00%	100,00%	
Sao Francisco do Sul	Granel sólido	33,85%	74,96%	
São Sebastião	Granel sólido	100,00%	100,00%	
Suape	Granel líquido	20,90%	53,07%	
Vila do Conde	Granel sólido	49,36%	49,88%	
Vitória	Contêiner	13,28%	27,61%	

A média dos índices de ineficiência passou de 20,46%, na análise com os *output*s absolutos, para 31,42%, na análise com os *output*s ponderados. Além disso, foram

observadas algumas alterações nos índices de eficiência e no *ranking* dos portos, em relação aos resultados da aplicação do modelo com os *outputs* absolutos.

O Quadro 2 apresenta os *rankings* de desempenho para os dois casos, com a indicação das unidades eficientes e das unidades ineficientes, essas últimas ordenadas pelo valor do índice de eficiência, em ordem decrescente.

	Ranking com outputs absolutos	Ranking com outputs ponderados		
	Antonina	Antonina		
des	Forno	Forno		
Unidades	Itaguaí	Paranaguá		
Un Efic	Santos	Santos		
	São Sebastião	São Sebastião		
	Paranaguá	Itaguaí		
	Vila do Conde	Sao Francisco do Sul		
	Rio Grande	Rio Grande		
	Sanatrém	Itaqui		
	Itaqui	Suape		
	Sao Francisco do Sul	Itajaí		
	Suape	Vila do Conde		
	Fortaleza	Fortaleza		
, <u> </u>	Itajaí	Belém		
nte	Cabedelo	Vitória		
cier	Belém	Sanatrém		
nefi	Vitória	Aratu		
es ii des	Imbituba	Salvador		
dad	Aratu	Rio de Janeiro		
Unidades ineficientes (ordem descrescente)	Maceió	Cabedelo		
ے د	Rio de Janeiro	Maceió		
	Macapá	Imbituba		
	Salvador	Niterói		
	Natal	Natal		
	Ilheus	Macapá		
	Recife	Recife		
	Niterói	Ilheus		
	Porto Alegre	Angra dos Reis		
	Angra dos Reis	Porto Alegre		

Quadro 2 - Comparação dos rankings de eficiência

A seguir, são apresentadas informações sobre as unidades eficientes, sobre as principais unidades ineficientes e a análise dos resultados encontrados para cada porto.

## 4.1 UNIDADES EFICIENTES

A adoção do método dos *outputs* ponderados confirmou a eficiência dos portos de São Sebastião, Santos e Antonina e trouxe como mudança no grupo das DMUs 100% eficientes a exclusão de Itaguaí e a inclusão de Paranaguá.

Todos os portos eficientes, em ambas as análises, movimentaram granéis sólidos, predominantemente, no ano de 2013.

As unidades eficientes em ambos os cálculos são analisadas a seguir, à exceção do Porto de Forno, que foi referência apenas para si mesmo e que, por isso, não será mencionado na avaliação do resultado.

### 4.1.1 Porto de Antonina

Localizado no Paraná, o Porto de Antonina é atualmente, parte do complexo administrado pela Autoridade Portuária de Paranaguá e Antonina. A Figura 9 apresenta o mapa do Porto.



Figura 9 - Localização do Porto de Antonina

Fonte: SEP (2013)

Trata-se de porto cuja área de influência fica restrita ao Estado do Paraná (CAMPOS NETO, 2006), conforme indicado na Figura 10.



Figura 10 - Hinterlândia do Porto de Antonina

Fonte: Campos Neto (2006)

Em 2013, o Porto de Antonina movimentou 1.560.210 toneladas, o que representou 0,50% da movimentação do conjunto de portos analisado.

Do total de carga movimentada, 98,53% eram granéis sólidos, boa parte decorrente de importação de fertilizantes, e 1,47% eram carga geral solta, não tendo sido registrada movimentação de granéis líquidos e contêineres no período.

O Porto de Antonina aparece como *benchmark* para 21 DMUs na análise inicial, com expressiva participação, inclusive entre portos de maior movimentação, como Vila do Conde, Suape, Salvador, Paranaguá, Vitória, São Francisco do Sul, Itajaí e Rio Grande. Após a ponderação dos *outputs*, o número de referências caiu para18 DMUs, com a exclusão de Paranaguá, que melhorou sua eficiência para 100%, de Suape e Salvador.

# 4.1.2 Porto de Itaguaí

O Porto de Itaguaí, administrado pela Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ), localizado na costa norte da Baía de Sepetiba, no município de Itaguaí, estado do Rio de Janeiro (Figura 11), consolidou-se como um dos grandes portos da América Latina, destacando-se como um dos principais pólos de exportação de minério de ferro do Brasil (SEP, 2014 c).



Figura 11 - Localização do Porto de Itaguaí

Fonte: CNT (2012)

É um porto de médio porte, cuja área de influência abrange o Estado do Rio de Janeiro (CAMPOS NETO, 2006), conforme apresentado no mapa da Figura 12.

Em 2013, o porto de Itaguaí movimentou 55.765.300 de toneladas, um acréscimo de 2,20% em relação a 2012, sendo responsável por 6,30% de toda movimentação observada nas instalações portuárias brasileiras em 2013.



Figura 12 - Hinterlândia do Porto de Itaguaí

Fonte: Campos Neto (2006)

O minério de ferro respondeu por 88,00% da pauta de mercadorias movimentadas pelo Porto, apresentando um crescimento em relação ao ano anterior de 2,00% com a movimentação de 50,50 milhões de toneladas do metal. A movimentação de minério de ferro no porto de Itaguaí correspondeu a 97,60% de toda a exportação de mercadorias realizada pelo Porto.

No longo curso, as importações de mercadorias responderam por 7,90% da movimentação. Dentre as principais mercadorias importadas, destacou-se a importação de carvão mineral (2,10 milhões de toneladas) e coque de petróleo (1,00 milhão de toneladas) (ANTAQ, 2014 b).

O Porto de Itaguaí movimentou 17,87% do total da amostra, e foi referência para 24 outros portos na análise de eficiência com os *output*s absolutos. Na análise com os *output*s ponderados, porém, o índice de eficiência da DMU caiu para 99,41%.

# 4.1.3 Porto de Paranaguá

Localizado no estado do Paraná, na cidade homônima, o Porto de Paranaguá é o maior porto exportador de produtos agrícolas do Brasil. A Figura 13 apresenta o mapa de localização do Porto.



Figura 13 - Mapa de localização do Porto de Paranaguá

Fonte: CNT (2012)

Paranaguá é um porto de grande porte cuja área de influência abrange dez estados da Federação, a saber: Paraná, Mato Grosso, Santa Catarina, São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Rondônia, Acre, Tocantins e Goiás (CAMPOS NETO, 2006). A Figura 14 apresenta o mapa da hinterlândia do Porto.

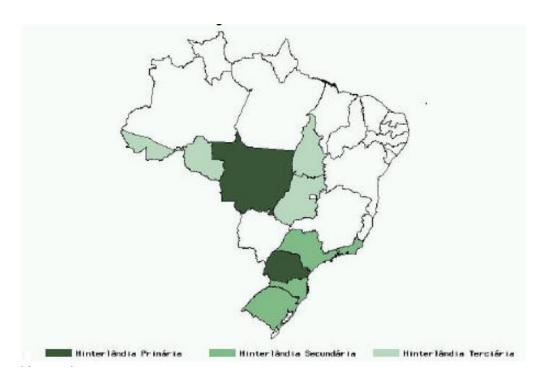


Figura 14 - Hinterlândia do Porto de Paranaguá

Fonte: Campos Neto (2006)

Em 2013, esse porto movimentou 41.709.537 toneladas, 13,37% do total movimentado por todos os portos analisados. O total movimentado representa, ainda, um crescimento de 3,60% em relação a 2012, e 4,50% de toda movimentação observada nas instalações portuárias brasileiras em 2013 (ANTAQ, 2014 b).

Cabe ressaltar a grande predominância dos granéis sólidos. A pauta de mercadorias movimentadas no Porto foi composta por produtos relacionados à agricultura, com destaque para soja (19,20% da movimentação do porto de Paranaguá em 2013), fertilizantes e adubos (19,10%), farelo de soja (13,10%), açúcar (12,70%) e milho (10,90%).

No longo curso, as exportações responderam por 67,80% da movimentação, com destaque para a soja, farelo de soja, açúcar, milho e mercadorias conteinerizadas.

Paranaguá teve sua eficiência aumentada de 87,09% para 100,00%, com a ponderação dos *outputs* e foi *benchmark* para 20 portos, incluindo os de movimentação mais expressiva – Suape, Itaguaí, São Francisco do Sul e Rio Grande.

#### 4.1.4 Porto de São Sebastião

O Porto de São Sebastião é administrado pela Companhia Docas de São Sebastião, empresa vinculada à Secretaria de Estado de Transportes de São Paulo. Está localizado na costa norte do Estado de São Paulo, na cidade de São Sebastião, a 200 km da cidade de São Paulo.

Esse Porto movimentou um total de 590.847 toneladas em 2013, que representa 0,19% do total movimentado pelas 29 unidades da amostra.

O Porto de São Sebastião foi *benchmark* para 15 e 20 unidades, nas análises com *outputs* absolutos e compensados, respectivamente, incluindo Itaqui, Suape, Rio de Janeiro, Itaquaí e São Francisco do Sul.

#### 4.1.5 Porto de Santos

O Porto de Santos está localizado nos municípios de Santos e Guarujá, no estado de São Paulo, e é o principal porto brasileiro, com cerca de 67% do PIB brasileiro na sua área de influência primária (SEP, 2012). A Figura 15 apresenta a localização do Porto.

Sua área de influência abrange 13 unidades da Federação: São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná, Espírito Santo, Bahia e Rio Grande do Sul, Tocantins, Rondônia e Distrito Federal, conforme apresentado na Figura 16 (CAMPOS NETO, 2006).

É o principal porto brasileiro sob diversos aspectos e o único classificado como de âmbito nacional, sendo considerado o maior da América Latina (CNT, 2012).



Figura 15 - Localização do Porto de Santos

Fonte: CNT (2012)

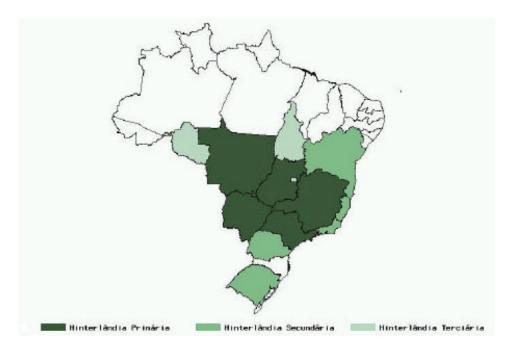


Figura 16 - Hinterlândia do Porto de Santos

Fonte: Campos Neto (2006)

O Porto de Santos movimentou 92.233.751 toneladas em 2013, que corresponde a 29,56% do total movimentado nos portos públicos analisados e foi responsável por 10,70% de toda a movimentação de cargas no país.

Embora os granéis sólidos respondam pelo maior percentual de cargas, o Porto também registrou movimentações de granéis líquidos, carga geral solta e contêineres, sendo essa última bem expressiva em relação às duas anteriores. O crescimento na movimentação de contêineres (8,00%), de açúcar (16,80%), soja (9,40%) e milho (12,60%) foi determinante para o excepcional desempenho do porto de Santos comparativamente a 2012 (ANTAQ, 2014 b).

O Porto foi *benchmark* para 11 DMUs, na análise com *output*s absolutos, e para 13 DMUs na análise com *output*s ponderados, incluindo Vila do Conde, Itaqui, Suape, Rio de Janeiro, Itaquaí e Rio Grande.

#### 4.2 UNIDADES INEFICIENTES

#### 4.2.1 Porto de São Francisco do Sul

Localizado em Santa Catarina (Figura 17), é considerado um porto importante para a economia da região Sul (CNT, 2012).



Figura 17 - Localização do Porto de São Francisco do Sul Fonte: CNT (2012)

Em 2013, o Porto movimentou 13.021.418 toneladas de cargas, em sua maioria granéis sólidos (71,60%), que representou 4,17% do total movimentado pelos portos da amostra.

Trata-se de porto de porte médio, cuja área de influência abrange dois estados da Região Sul do país: Santa Catarina e Paraná (Figura 18) (CAMPOS NETO, 2006).



Figura 18 - Hinterlândia do Porto de São Francisco do Sul Fonte: Campos Neto (2006)

O índice de eficiência do Porto passou de 33,85% para 74,96%, após a ponderação dos *outputs*. Como benchmarks para São Francisco do Sul foram apontados os Portos de São Sebastião, Antonina e Paranaguá.

# 4.2.2 Porto de Itaqui

Localizado no estado do Maranhão, integra o Complexo Portuário de São Luís, composto também pelos terminais de Ponta da Madeira, da Vale, e da Alumar (CNT, 2012). O mapa de localização do Porto de Itaqui é apresentado na Figura 19.

Sua área de influência abrange os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins, Pará, Goiás e Mato Grosso, com relevante importância para a região Nordeste (CNT, 2012).



Figura 19 - Mapa de localização do Porto de Itaqui
Fonte: CNT (2012)

O Porto de Itaqui movimentou 15.166.949 toneladas, 4,86% do total, e foi considerado movimentador de granéis sólidos, dado o maior volume de movimentação desse tipo de carga (52,75%).

A movimentação de 2013 apresenta um decréscimo de 2,60% em relação a 2012 e corresponde a 1,60% de toda movimentação observada nas instalações portuárias brasileiras.

A pauta de mercadorias movimentadas no porto de Itaqui foi composta por combustíveis e óleos minerais (45,30%), soja (19,50%) e ferro gusa (11,40%). A movimentação de combustíveis e óleos minerais e ferro gusa apresentou um decréscimo de, respectivamente, 7,40% e 9,20%. Em 2013, a movimentação de soja apresentou um crescimento de 8,40% em relação a 2012.

Em 2013, a navegação de longo curso apresentou um decréscimo de 7,00% em relação a 2012, movimentando 11,80 milhões de toneladas no ano. As exportações de mercadorias responderam por 48,10% da movimentação total, com destaque

para a soja e o ferro gusa, que juntas representam 82,60% de toda a exportação do porto. Nas importações, o destaque recai sobre o grupo de mercadorias combustíveis e óleos minerais, que representa mais de metade da pauta de mercadorias importadas pelo porto de Itaqui (ANTAQ, 2014 b).

O índice de eficiência de Itaqui foi de 33,88% e 54,33%, nos cálculos com *outputs* absolutos e ponderados, respectivamente.

No cálculo final, os benchmarks foram os Portos de São Sebastião e de Santos.

# 4.2.3 **Suape**

Suape é um Complexo Industrial Portuário, localizado no Estado de Pernambuco, formado por mais de 100 empresas atuantes nos segmentos de produtos químicos, metal-mecânica, naval e logística (CNT, 2012). O mapa da Figura 20 apresenta a localização do Porto.



Figura 20 - Mapa de localização do Porto de Suape

Fonte: CNT (2012)

O movimento de produtos em Suape está centrado no setor industrial de produtos minerais, com destaque também para agroindústria e madeira, eletroeletrônica e indústria têxtil, sendo considerado um porto que opera com produtos de maior valor agregado. Sua área de influência restringe-se a duas unidades da Federação: Pernambuco e Paraíba (Figura 21)( CAMPOS NETO, 2006).

O Porto foi considerado especializado em granel líquido, dado o maior volume desse tipo de carga (56,54%), sendo que, no total, foram movimentadas, em suas instalações, 12.074.361 toneladas, 3,87% do total da amostra.

Suape teve seu índice de eficiência alterado de 20,90% para 53,07%, após a aplicação de DEA ao problema com os *output*s ponderados e seus *benchmarks* foram São Sebastião, Santos e Paranaguá.



Figura 21 - Área de influência do Porto de Suape

Fonte: Campos Neto (2006)

# 4.3 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

Na análise dos resultados, cabe destacar as principais semelhanças e diferenças identificadas com a aplicação do modelo convencional e com o emprego do procedimento de ponderação dos *outputs*.

No cálculo das eficiências com os *output*s absolutos verificou-se que entre as unidades eficientes, 50,00% das DMUs analisadas (excluído o Porto de Forno) estão entre os três principais portos do país, em 2013, em termos de volume de movimentação – Santos, Itaguaí e Paranaguá, respectivamente (ANTAQ, 2014 b). Essa característica se repete no cálculo das eficiências com os *outputs* ponderados, porém, com a substituição de Itaguaí por Paranaguá.

O Porto de Santos foi o maior em movimentação de carga no ano de 2013. Apesar de ter a maior extensão de acostagem, de 13,00 km, o calado permitido no canal de acesso não está entre os maiores, com 12,20 m. A área de influência de Santos é a maior da amostra.

Paranaguá, por sua vez, é um porto cuja importância se estende para além da região Sul do País, onde está situado - esse Porto ocupou a 3ª colocação em movimentação de carga em 2013. Quanto à infraestrutura aquaviária, esse porto possui a 2ª maior extensão de acostagem da amostra, mas o calado máximo permitido no seu canal de acesso, de 13,00 m, é inferior ao de algumas unidades ineficientes.

Os Portos de Antonina e de São Sebastião mantiveram-se entre as unidades eficientes, embora sua movimentação tenha representado pequeno percentual do total movimentado pela amostra (0,69%). A eficiência de portos de menor porte indica que seu desempenho não sofre influência de fatores externos incontroláveis, como localização e hinterlândia. Cabe destacar ainda que tais unidades apareceram mais vezes do que o Porto de Santos como *benchmark* para as unidades ineficientes.

Outra característica mantida entre o conjunto de unidades eficientes é a movimentação predominante de granel sólido, em linha com as referências na

literatura sobre o desempenho de portos movimentadores dessa natureza de carga, apontados como os mais eficientes.

Tanto no cálculo com os *outputs* absolutos como no cálculo com os *outputs* ponderados, 7 dos 8 principais portos (ANTAQ, 2014b) aparecem no *ranking* dos 10 melhores índices de eficiência. A diferença entre ambos os casos é que, após a ponderação dos *outputs*, verificou-se que o *ranking*, antes composto apenas de portos movimentadores de granéis sólidos, passou a incluir também portos com maior movimentação de outras naturezas de carga: Suape, que teve predomínio de granel líquido, e Itajaí, em que predominou a movimentação de contêineres.

A média dos índices de eficiência aumentou no novo *ranking*. Verificou-se ainda que, para os portos movimentadores de granéis líquidos, contêineres e carga geral solta, o índice de eficiência aumentou, fazendo com que sua colocação fosse igual ou melhor que a do *ranking* inicial. Para os portos com movimentação predominantemente de granéis sólidos, porém, observou-se que, em alguns casos, os índices de eficiência reduziram e que as unidades passaram a ocupar posição inferior.

O novo *ranking* se mostrou coerente, tendo em vista que os 10 primeiros colocados foram responsáveis por cerca de 81,00% do total de cargas movimentadas por toda a amostra, abrangendo os principais portos brasileiros. Da mesma forma, também é razoável que o restante da amostra, composto por unidades de menor índice de eficiência, tenha sido responsável por menor volume de carga, dado o objetivo da análise de avaliar o aproveitamento da infraestrutura – ou seja, quanto menor a movimentação, menor o desempenho, a menos que as dimensões do canal de acesso e da extensão de acostagem sejam também menores. Essas observações indicam que, embora a classificação das unidades tenha sido alterada, o novo *ranking* mantém uma distribuição aceitável e permite uma comparação de desempenho mais realista.

A variável canal de acesso, identificada como a maior influência em ambos os rankings, teve seu peso aumentado no cálculo da eficiência ponderada, enquanto as variáveis acostagem e carga total tiveram seu peso reduzido. Entretanto, não foi

possível identificar características dos *benchmarks q*ue pudessem servir de parâmetro para a melhoria das unidades ineficientes.

# 5 CONCLUSÕES

Tendo em vista as implicações de um sistema portuário ineficiente, com perdas e custos adicionais às empresas que dependem dessa modalidade de transporte, a medição do desempenho portuário é de fundamental importância para o planejamento do setor e competitividade dos seus clientes.

Entre as diversas técnicas possíveis para a medição da eficiência portuária, destacase a Análise Envoltória de Dados (DEA), amplamente aplicada devido à simplicidade do seu uso, em especial em análises que envolvem complexas relações entre *inputs* e *outputs*.

Porém, grande parte das pesquisas sobre portos com a aplicação de DEA compara instalações especializadas na movimentação de apenas uma natureza de carga.

Com o objetivo de realizar uma comparação entre portos multipropósito com a aplicação da modelagem DEA, esta pesquisa analisou a eficiência de um conjunto de 29 portos públicos marítimos brasileiros, na movimentação de cargas em relação à infraestrutura aquaviária disponível, no ano de 2013.

Para tanto, foi aplicada a Análise Envoltória de Dados, modelo BCC orientado a *output*, por meio do *software* SIAD 3.0 à amostra, tendo como *input*s o calado máximo no canal de acesso e a extensão de acostagem e como *output* a quantidade anual de carga movimentada.

Diante das diferentes naturezas de carga movimentadas pelas unidades, foi proposta aplicação de um procedimento de ponderação dos *outputs* que levasse em conta as particularidades do processo produtivo de cada uma delas.

Assim, cada DMU teve o valor do seu *output* inicial, denominado *output* absoluto, redefinido pelo somatório das parcelas correspondentes a cada natureza de carga dividida pela respectiva eficiência de referência, a que se denominou *output* ponderado.

Como resultado da aplicação da técnica DEA à amostra com os *outputs* ponderados, a eficiência média de toda a amostra aumentou e algumas distorções foram

eliminadas, com a melhoria da classificação de parcela significativa dos portos que não tiveram o granel sólido como principal carga movimentada.

Cabe destacar ainda que, com o emprego do método, os portos públicos mais importantes, em volume de carga, no ano de 2013, apareceram entre as unidades mais bem classificadas.

Os resultados obtidos apontam que a aplicação do método proposto é viável para atender às necessidades de adaptações da modelagem em DEA nas comparações entre portos multipropósito, contribuindo para a evolução da técnica também em outros campos em que também sejam observadas amostras não homogêneas.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, algumas dificuldades puderam ser percebidas.

A indisponibilidade dos dados, recorrente em diversos trabalhos tomados como referência, limitou a seleção das variáveis e, consequentemente, a escolha da perspectiva a ser analisada. Foi o caso dos dados sobre mão-de-obra e equipamentos, que poderiam ser incluídos no modelo, caso estivessem acessíveis, permitindo a análise da eficiência do ponto de vista operacional.

Além disso, são poucas as referências e parâmetros de comparação entre as quatro naturezas de carga, com a maior parte dos estudos se atendo à movimentação de granéis sólidos e contêineres.

Assim, percebe-se potencial para o desenvolvimento de trabalhos futuros que explorem modelagens que abordem diferentes aspectos da atividade portuária e a obtenção de referências comparativas entre naturezas de cargas.

# 6 REFERÊNCIAS

- ABREU, U. G. P.; GOMES, E. G.; LOPES, P. S.; TORRES, R. A. SANTOS, H. N. Avaliação sistêmica da introdução de tecnologias na pecuária de gado de corte do Pantanal por meio de modelos de análise envoltória de dados (DEA). R. Bras. Zootec., v.37, n.11, p.2069-2076, 2008.
- ACOSTA, C. M. M.; SILVA, A. M. V. A. e LIMA, M. L. P. (2011). Aplicação de análise envoltória de dados (DEA) para medir eficiência de portos brasileiros. Journal of Transport Literature. Vol. 5, n. 4, p. 88-102.
- AGÓS, F. E. Multi-purpose port terminals recommendations for planning and management. Unctad Monographs on Port Management. New York: UNCTAD, 1991.
- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. Obras e Gestão de Portos e Costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009. 776 p.
- ALI, J.; CHARNES, A.; COOPER, W. W.; DIVINE, D. KLOPP, G. A. AND STUTZ. An application of data envelopment analysis to us army recruitment districts. Applics mgmt. sci. res A (edited by schutz rl). JAI Press. (1988)
- ANGULO MEZA, L. Data Envelopment Analyis (DEA) na Determinação da Eficiência dos Programas de Pós-Graduação da COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1998. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998.
- ANGULO MEZA, L;, BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E. G. ISYDS— Integrated System for Decision Support (SIAD Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model. Pesquisa Operacional, v.25, n.3, p. 493-503. 2005.
- ANTAQ AGÊNCIA NACIONAL DE TRASNPORTES AQUAVIÁRIOS (a). Desempenho Portuário. 2014. Disponível em: http://www.antaq.gov.br/Portal/DesempenhoPortuario/Index.asp. Acesso em: 05 de junho de 2014.
- ANTAQ AGÊNCIA NACIONAL DE TRASNPORTES AQUAVIÁRIOS (b). Boletim Anual de Movimentação de Cargas 2013: análise da movimentação de cargas nos portos organizados e terminais de uso privativo. 2014. Disponível em: http://www.antaq.gov.br/portal/Anuarios/Anuario2013/Tabelas/AnaliseMovimentacao Portuaria.pdf. Acesso em: 05 de junho de 2014.
- ARONIETES, R.; VAN DE VOORDE, E.; VANELSLANDER, T. Port competitiviness determinants of selected European ports in the containerized cargo Market. Paper presented at IAME. 2010.

- BANDES. Análise e Avaliação da Organização Institucional e da Eficiência de Gestão do Setor Portuário Brasileiro. São Paulo: Booz & Company, 2012. 643 p.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science, v. 30, n. 9, p. 1078-1092. 1984.
- BARROS, C. P. Incentive regulation and efficiency of Portuguese port authorities. Maritime Economics and Logistics, v. 5, p.55-69, 2003.
- BARROS, C. P; ATHANASSIOU, M. Efficiency in European seaports with DEA: evidence from Greece and Portugal. Maritime Economics and Logistics, v. 6, p. 122-140, 2004.
- BELLONI, J. A. Uma Metodologia de Avaliação da Eficiência Produtiva de Universidades Federais Brasileiras. 2000. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção Florianópolis, 2000.
- BERTOLOTO, R. F.; J. C. C. B. SOARES DE MELLO. Eficiência de portos e terminais privativos brasileiros com características distintas. Revista de Literatura de Transportes, v. 5, n. 2, p. 4-21 (2011).
- BERTOLOTO, R. F. Eficiência de portos e terminais privativos brasileiros com características distintas. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2010.
- BICHOU, K. Lloyd's practical shipping guides: port operations, planning and logistics. Informa Law: Abingdon, 2013. 384 p.
- BONILLA, M.; MEDAL, A.; CASAUS, T.; SALAS, R. The traffic in Spanish ports: na efficiency analysis. *International Journal of Transport Economics*, v. 19 (2), p. 237-253, 2002.
- BORGO FILHO, M. Elementos de Engenharia Portuária. Vitória: Flor&Cultura, 2008. 368 p.
- BOWLIN, W. F. Evaluating the efficiency of US Air-force real property maintenance activities. Journal of Operational Research Society, v 38 (2), p. 127-135. 1987.
- BRASIL. Lei 12 815, de 5 de junho de 2013. Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários e dá outras providências. 2013. Disponível em: <a href="http://www.planalto.gov.br/ccivil\_03/\_ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm">http://www.planalto.gov.br/ccivil\_03/\_ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm</a>. Acesso em: 13 de janeiro de 2014.

- CAMPOS NETO, C. A. S. Portos brasileiros: área de influência, ranking, porte e os principais produtos movimentados. Brasília: IPEA. 2006.
- CAMPOS NETO, C. A. S.; PÊGO FILHO, B.; ROMMINGER, A. E.; FERREIRA, I. M.; VASCONCELOS, L. F. S. Portos brasileiros: diagnóstico, políticas e perspectivas. Brasília: IPEA. 2009.
- CARDOSO, J. S. L. Proposição de uma metodologia para a comparação de desempenho operacional de terminais portuários de granéis sólidos minerais. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, p. 429-444. 1978.
- COELLI, T. J.; PRASADA RAO, D.S.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. An introduction to efficiency and productivity analysis. 2<sup>a</sup> ed. Nova York: Springer, 2005. 341 p.
- COELLI, T.; ESTACHE, A.; PERELMAN, S.; TRUJILLO, L. A primer on efficiency measurement for utilities and transport regulators. Washington, D.C.: The World Bank, 2003.
- COELLI, T.; PRASADA RAO, D. S.; BATTESE, G. E. (1998) An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Boston: Klwer Academic Publishers. 1998.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CNI. Reforma portuária: o que falta fazer. Brasília: CNI. 2007.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE CNT. Pesquisa CNT do transporte marítimo 2012. Brasília : CNT, 2012. 267 p.
- COOK, W.; SEIFORD, L. Data Envolopment Analysis (DEA) thirty years on. European Journal of Operational Research, v. 192, p. 1-17, 2009.
- COOPER, W. W., SEIFORD, L. M., TONE, K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software. 2nd ed. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2007. 492 p.
- CORTEZ, L. C. S.; OLIVEIRA, L. R.; MARTINS, E. F.; JESUS, I. R. D; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Análise de eficiência na gestão de portos públicos brasileiros em relação ao papel das autoridades portuárias. Journal of Transport Literature. Vol. 7, n. 2, pp. 78-96. 2013.
- CULLINANE, K.; WANG, T. Data Envelopment Analysis (DEA) and improving container port efficiency. Research in Transportation Economics, v. 17, p. 517–566. 2007.

- CULLINANE, K.; SONG, D. Estimating the relative efficiency of European container ports: a stochastic frontier analysis. *Research in Transportation Economics*, v. 16, p. 85–115. 2006.
- CULINNANE, K., SONG, D.; WANG, T. The Application of Mathematical ProgrammingApproaches to Estimating Container Port Production Efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, 24, 73–92. 2005.
- CULINNANE, K., SONG, D., JI, P., WANG, T. An application of DEA windows analysis to container port production efficiency. *Review of Network Economics*, v. 3(2), p. 186-208. 2004.
- DYSON, R. G.; ALLEN, R.; CAMANHO, A. S.; PODINOVSKI, V. V.; SARRICO, C. S.; SHALE, E. A. Pitfalls and protocols in DEA. European Journal of Operational Research, 2001, v. 132, n. 2, p. 245–259.
- EMROUZNEJAD, A. Measurement efficiency and productivity in SAS/OR. Computers and Operations Research, v. 32(7), p. 1665-1683. 2005.
- FARE, R., GNOSSKOPF, S., LOVELL, C. A. K. Production frontiers. New York, Cambridge University Press. 1994.
- FARREL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. Journal of Royal Statistical Society, Series A, v. 120, n. 3, pp. 253-281. 1957.
- FERREIRA, M. A. M.; MENDES JR., R.; CARNIERI, C. Análise de Desempenho de Sistemas Portuários usando simulação matemática e estatística. Revista Produção.. V. 7, N. 3. 2007.
- FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. Introdução à Análise Envoltória de Dados: teoria, modelos e aplicações. Viçosa: Editora UFV, 2009. 389 p.
- FERREIRA, A. B. H. Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1988.
- FLEURY, P. F.; HIJJAR, M. F. Logistics overview in Brazil 2008. Disponível em <a href="https://www.ilos.com.br/index2.php?option=com\_docman&task=doc\_view&gid=31&Itemid=44">https://www.ilos.com.br/index2.php?option=com\_docman&task=doc\_view&gid=31&Itemid=44</a>. Acesso em 12 dez. 2012.
- GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. Omega, v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.
- GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. C.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. Rev. Econ. Sociol. Rural, vol.43, n.4, pp. 607-631. 2005.

- GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; FREITAS, A. C. R. Análise de eficiência em agricultura com unidades em desvantagem competitiva. X Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha SPOLM 2007, Rio de Janeiro. Anais do SPOLM 2007, 2007.
- GONZALEZ, M. M.; TRUJILLO, L. Efficiency Measurement in the Port Industry: A Survey of the Empirical Evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, v. 43, p. 157–192. 2009.
- JUBRAN, A. J. Modelo de Análise de Eficiência na administração pública: estudo aplicado às prefeitura brasileiras usando a análise envoltória de dados. Tese de Doutorado Engenharia Elétrica. USP. São Paulo, 2006.
- LETA, F. R.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; ANGULO MEZA, L. Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. Investigação Operacional, v. 25. 2005.
- LINS, M. P. E.; CALÔBA, G. M. Programação Linear: com aplicações em teoria dos jogos e avaliação de desempenho. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 2006. 300 p.
- LOVELL, C. A. K. Production Frontiers and Productive Efficiency. in FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S.S. The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications. New York: Oxford University Press. 1993. 430 p.
- LU, B.; WANG, X. Application of DEA on the measurement of operating efficiencies for east-Asia major container terminals. Journal of System and Management Sciences. v. 2, n. 1, p. 1-18. 2012.
- MARIANO, E. B.; ALMEIDA, M. R.; REBELATTO, D. A. N. Peculiaridades da Análise por Envoltória de Dados. In: XII SIMPEP Simpósio de Engenharia de Produção. Bauru, 2006.
- MARTINEZ-BUDRIA, E, DIAZ-ARMAS, R, NAVARRO-IBANEZ, M AND RAVELO-MESA, T. A study of the efficiency of Spanish port authorities using data envelopment analysis. *International Journal of Transport Economics*, v. 2, p. 263–281. 1999.
- MARTINS, K. V.; CRUZ, M. M. C. Eficiência de portos e terminais submetidos a diferentes formas de exploração como subsídio ao planejamento de um porto organizado. In: XXV ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Belo Horizonte, 2011.
- MARTINS, K. V.; CRUZ, M. M. C. Análise da eficiência de portos e terminais de cargas não especializados. In: XXV SOBENA Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore. Rio de Janeiro, 2014.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR MDIC. Órgãos Anuentes na Importação. 2015. Disponível em:

http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=5&menu=278. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR - MDIC. Apresentação da Balança Comercial 2013. Brasília, 2014.

MOKHTAR, K.; SHAH, M. Z. Efficiency of Operations in Container Terminals: A Frontier Method. European Journal of Business and Management. v.5, n.2. 2013.

MOREIRA, D. A. Pesquisa Operacional – curso introdutório. 2ª ed. São Paulo: Thomson Learning, 2011. 376 p.

NIAVIS, S.; TSEKERIS, T. Ranking and causes of inefficiency of container seaports in South-Eastern Europe. European Transport Research Review. v. 4, n. 4, p. 235-244. 2012.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. Port competition and hinterland connections. Paris: OECD Publishing, 2009.

PINDYCK, R. S., RUBINFELD, D. L. Microeconomia. 5ª.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

RAMOS, R. E. B. Michael J. Farrell e a medição da eficiência técnica. In: XXVII ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, 2007.

RECEITA FEDERAL DO BRASIL. Instrução Normativa RFB nº 1.273, de 6 de junho de 2012. Institui o Cadastro Aduaneiro Informatizado de Intervenientes no Comércio Exterior e o Registro Informatizado de despachantes aduaneiros e ajudantes de despachante aduaneiro. Disponível em: <a href="http://www18.receita.fazenda.gov.br/Legislacao/Ins/2012/in12732012.htm">http://www18.receita.fazenda.gov.br/Legislacao/Ins/2012/in12732012.htm</a>. Acesso em: 10 de janeiro de 2015.

RIBEIRO, P. C. C.; FERREIRA, K. A. Logística e Transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o Panorama brasileiro. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, 2002. Anais do XXII ENEGEP. 2002

ROBINSON, R. Ports as elements in value-driven chain systems: the new paradigm. *Maritime Policy and Management*, 29, 241-255. 2002.

ROLL, Y; HAYUTH, Y. Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA). Maritime Policy and Management, 20: 195–217. 1993.

SÁNCHEZ, R. J.; HOFFMANN, J., MICCO, A.; PIZZOLITTO, G. V., SGUT, M.; WILMSMEIER, G. Port Efficiency and International Trade: Port Efficiency as a Determinant of Maritime Transport Costs. Maritime Economics & Logistics, v. 5, p. 199–218, 2003.

- SENRA, L. F. A.C; NANCI, L. C.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Comparação de métodos de seleção de variáveis em DEA. In: XXXVI SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. São João Del-Rei, 2004.
- SENRA, L.F.A.C.; NANCI, L.C.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; ANGULO MEZA, L. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. Pesquisa Operacional, v. 27, p. 191- 207. 2007.
- SEP Secretaria de Portos. Atualização do Plano de Desenvolvimento e expansão do Porto de Santos. Florianópolis: LABTRANS Laboratório de Transporte e Logística UFSC. 2012.
- SEP Secretaria de Portos. Plano Mestre: Porto de Antonina. Florianópolis: LABTRANS Laboratório de Transporte e Logística UFSC. 2013.
- SEP Secretaria de Portos (a). Planejamento Portuário Nacional. 2014. Disponível em: http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/pnpl. Acesso em 20 de junho de 2014.
- SEP Secretaria de Portos (b). Porto sem Papel: Glossário Portuário. 2014. Disponível em: http://www.portosempapel.gov.br/sep/glossario-portuario. Acesso em 20 de junho de 2014.
- SEP Secretaria de Portos (c). Plano Mestre: Porto de Itaguaí. Florianópolis: LABTRANS Laboratório de Transporte e Logística UFSC. 2014.
- SEP Secretaria de Portos. Sistema Portuário Nacional. 2015. Disponível em: <a href="http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/sistema-portuario-nacional">http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/sistema-portuario-nacional</a>. Acesso em 15 de fevereiro de 2015.
- SILVEIRA, J. Q.; ANGULO MEZA, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Identificação de benchmarks e anti-benchmarks para companhias aéreas usando modelos DEA e fronteira invertida. Produção. V. 22, n.4. São Paulo. 2012.
- SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E. G.; BIONDI NETO, L. Curso de Análise de Envoltória de Dados. XXXVII SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2005, Gramado. Anais do XXXVII SBPO, 2005.
- SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E. G.; SERAPIÃO, B. P.; LINS, M. P. E. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. Pesquisa Operacional, v. 23, p. 325, 2003.
- SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; ANGULO MEZA, L.; LINS, M. P. E. Selección de variables para el incremento del poder de discriminación de los modelos DEA. *Revista de La Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, v. 24, p. 40-52. 2004.

- SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, M. H. C.; LINS, M. P. E. Método Multicritério para seleção de variáveis em modelos DEA. Pesquisa Naval, v. 15, p. 55-66. 2002.
- SONG, D.-W., YEO, G.-T. A competitive analysis of Chinese container ports using the analytic hierarchy process. Maritime Economics & Logistics, v. 6, n. 1, p. 34–52. 2004.
- SOUZA, M. C. S.; RAMOS, F. S. Eficiência técnica e retornos de escala na produção de serviços públicos municipais: o caso do nordeste e do sudeste brasileiros. Revista Brasileira de Economia. v. 53, n. 4, p. 433-461.1999.
- SOUZA, P. C. T.; WILHELM, V. E. Uma introdução aos modelos DEA de eficiência técnica. ciência e Cultura, n. 42, p. 121-139, Curitiba, 2009.
- SOUZA JÚNIOR, J. N. C.; NOBRE JÚNIOR, E. F.; PRATA, B. A.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados: estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil. *Journal of Transport Literature*, v. 7, p. 75-106. 2013.
- TALLEY, W. The Blackwell Companion to Maritime Economics. 1<sup>a</sup> ed. Blackwell Publishing Ltd. 2012.
- TONGZON, J. L. (2001) Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research*, Part A, v. 35, p. 107-122, 2001.
- TONGZON, J. L. Determinants of ports performance and efficiency. *Transportation Research*, Part A, v. 29, n. 3, p. 245-252, 1995.
- TURNER, H.; WINDLE, R.; DRESNER, M. North American container-port productivity: 1984-1997. *Transport Research E*, v. 40, p. 339-356, 2004.
- UDERMAN, S.; ROCHA, C. H.; CAVALCANTE, L. R. Modernização do sistema portuário no Brasil: uma proposta metodológica. Journal of Transport Literature. Vol. 6, n. 1, pp. 221-240. 2012.
- UNCTAD. Port Management Case Studies: 2011 2013 Cycle of the Train For Trade Port Training Programme. PORT MANAGEMENT SERIES. VOL. 1. Gevena: United Naions. 2014. 52 p.
- WANG, T., SONG, D-W. AND CULLINANE, K.P.B. The Applicability of Data Envelopment Analysis to Efficiency Measurement of Container Ports, Proceedings of the International Association of Maritime Economists Conference, Panama, p. 13-15, 2002.

- VALENTINE, VC e GRAY, R. The measurement of port efficiency using data envelopment analysis. *Proceedings of the Ninth World Conference on Transport Research*, Seoul, 2001.
- VARIAN, H. R. Microeconomia: princípios básicos. Rio de Janeiro: Campus, 1994.
- WANKE, P. F. Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian ports: a two-stage network-DEA approach. Transport Policy. v. 29, p. 145–153, 2013.
- WANKE, P. F. (a) Infraestrutura Portuária. In: WANKE, P. F.; SILVEIRA, R. V.; BARROS, F. G.(eds) Introdução ao Planejamento da Infraestrutura e Operações Portuárias: Aplicações de Pesquisa Operacional. Atlas, São Paulo. 2009.
- WANKE, P. F. (b) Analisando a eficiência dos terminais brasileiros com Análise Envoltória de Dados. *In*: WANKE, P. F.; SILVEIRA, R. V.; BARROS, F. G.(eds) Introdução ao Planejamento da Infraestrutura e Operações Portuárias: Aplicações de Pesquisa Operacional. Atlas, São Paulo. 2009.
- WANKE, P.F.; AFFONSO, C. R. Determinantes da eficiência de escala no setor brasileiro de operadores logísticos. Produção, v. 21, n. 1, p. 53-63. 2011.
- WILMSMEIER, G.; BERGQVIST, R.; CULLINANE, K. P. B. Ports and hinterland Evaluating and managing location splitting. Research in Transportation Economics v. 33, p. 1–5, 2011.
- WU, Y. J.; GOH, M. Container port efficiency in emerging and more advanced markets. Transportation Reasearch Part E, v. 46, p. 1030-1042. 2010.