

ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) APLICADA A PORTOS: O ESTADO DA ARTE

DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) APPLIED TO PORTS: THE STATE OF THE ART

**ANÁLISIS POR ENVOLTURA DE DATOS (DEA) APLICADO A LOS PUERTOS:
EL ESTADO DEL ARTE**

Melina Nolasco Vargas

Mestranda em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Endereço: Trav. Ana Maria Nunes, n. 84, Córrego Grande, CEP: 880037-027. Florianópolis, SC, Brasil

Telefone: (27) 99789-1117

E-mail: melina.nolascov@gmail.com

Vanina Macowski Durski Silva

Pós-Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Professora do Departamento de Engenharias da Mobilidade da UFSC

Endereço: R. Dona Francisca, n. 8300, Distrito Industrial, CEP: 89219-600. Joinville, SC, Brasil

Telefone: (48) 3721-9296

E-mail: vanina.durski@ufsc.br

Antônio Sérgio Coelho

Doutor em Engenharia de Produção pela UFSC

Professor titular no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC

Endereço: R. Eng. Agrônomo Andrei C. Ferreira, Trindade, CEP: 88040-900. Florianópolis, SC, Brasil

Telefone: (48) 3721-7003

E-mail: a.s.coelho@ufsc.br

Artigo recebido em 20/11/2019. Revisado por pares em 20/12/2019. Reformulado em 01/02/2019. Recomendado para publicação em 02/03/2019. Publicado em 23/06/2020. Avaliado pelo Sistema *double blind review*.

RESUMO

O desempenho portuário tornou-se fator determinante para o desenvolvimento da economia mundial, visto que o transporte marítimo é o principal elo da cadeia logística global. Assim, o presente artigo tem por objetivo identificar o estado da arte sobre DEA aplicado a portos. Através de levantamento bibliográfico, foram registradas cinquenta e cinco publicações sobre a aplicação deste método de modelagem matemática no setor portuário. Destas, quatorze estudaram os principais portos mundiais e apenas cinco focaram suas análises em portos brasileiros, o que pode ser considerado como uma lacuna de pesquisa. Além disso, constatou-se que a maioria dos estudos estão voltados para sistemas portuários de contêineres. Sendo assim, há oportunidade de exploração da ferramenta DEA para os demais tipos de carga.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados; Eficiência de sistemas portuários; Modelagem matemática no setor portuário.

ABSTRACT

Port performance has become a determining factor for the development of the world economy, as maritime transport is the main link in the global logistics chain. In this context, the Data Envelopment Analysis (DEA) method has been used to study the efficiency of port systems and the results support organizational decision making. Thus, this article aims to identify the state of the art on DEA applied to ports. Through a bibliographical survey, fifty-five publications on the application of this method of mathematical modeling in the port sector were registered. Of these, fourteen studied the main world ports and only five focused their analyzes in Brazilian ports, which can be considered as a research gap. In addition, it was found that most of the studies are focused on port systems of containers. Therefore, there is an opportunity to explore the DEA tool for other types of loads.

Keywords: Data Envelopment Analysis; Port systems efficiency; Mathematical modeling in port sector.

RESUMEN

El desempeño portuario se ha convertido en un factor determinante para el desarrollo de la economía mundial, ya que el transporte marítimo es el principal eslabón de la cadena logística global. En este contexto, el método Análisis Envoltorio de Datos (DEA) ha sido empleada para estudio de eficiencia de sistemas portuarios y los resultados ayudan a tomar decisiones organizativas. Así, el presente artículo tiene por objetivo identificar el estado del arte sobre DEA aplicado a puertos. A través de levantamiento bibliográfico, se registraron cincuenta y cinco publicaciones sobre la aplicación de este método de modelado matemático en el sector portuario. De estas, catorce estudiaron los principales puertos mundiales y sólo cinco enfocaron sus análisis en puertos brasileños, lo que puede ser considerado como una laguna de investigación. Además, se constató que la mayoría de los estudios están orientados a sistemas portuarios de contenedores. Siendo así, hay oportunidad de explotación de la herramienta DEA para los demás tipos de carga.

Palabras clave: Análisis de envoltura de datos; Eficiencia de los sistemas portuarios; Modelado matemático en el sector portuario.

1 INTRODUÇÃO

O processo de globalização está intimamente relacionado com a expansão do modal aquaviário. O transporte marítimo é a principal via no comércio exterior. Em 2016, 70% do valor movimentado no mercado internacional esteve a bordo de navios, o que representa, 10,287 bilhões de toneladas (UNCTAD, 2017).

Em se tratando de Brasil, pode-se constatar a relevância do transporte marítimo considerando que em 2017 movimentou-se 1,086 bilhões de toneladas de carga. As importações somaram 147,7 milhões de toneladas, mas as exportações merecem maior destaque; equivalente a 81,6% do volume movimentado em longo curso (655,8 milhões de toneladas). Tal valor representa um aumento de 7,9% em relação a 2016 (ANTAQ, 2017).

Apesar de resultados expressivos, o transporte marítimo nacional ainda atrasa o posicionamento do Brasil na economia mundial, devido problemas de infraestrutura, como acessibilidade, e questões políticas, como a burocracia (HILSDORF, NETO, 2016; BOTTASSO et al., 2018).

Tal fato pode ser comprovado por um estudo feito pelo *World Economic Forum* (2017 – 2018). Através do *Global Competitiveness Report* (2017 -2018), é possível mensurar o índice de produtividade das economias mundiais. De acordo com a pesquisa, o Brasil está posicionado em 80º lugar no *ranking* de competitividade global entre a economia de 137 países analisados. Em primeiro lugar encontra-se a Suíça, seguida dos Estados Unidos e de Singapura, respectivamente.

Pode-se dizer que o desempenho portuário se tornou fator determinante para o desenvolvimento da economia mundial, uma vez que os portos representam o principal elo da cadeia logística global, o estudo da eficiência dos mesmos permite o diagnóstico de melhores práticas, o que viabiliza tomadas de decisão estratégicas (CRUZ, FERREIRA, 2016; KUTIN et al., 2017).

Há algumas definições para eficiência na literatura. O termo eficiência técnico pode ser conceituado como a comparação da saída observada com a saída potencial máxima obtida da entrada ou a comparação da entrada observada com a entrada potencial mínima

necessária para produzir a saída ou uma combinação das duas. Já a eficiência econômica (ou alocativa) é mensurada pela observação de aspectos econômicos da organização, como custos, receita, lucro, entre outros, sujeitos a restrições operacionais e financeiras. (FARRELL, 1957; FRIED et al., 2008; FERREIRA, GOMES, 2009).

Neste sentido, faz-se importante o uso de uma metodologia que mensure eficiência portuária, a fim de obter resultados que permitam a identificação de melhores práticas adotadas pelos portos em análise. É neste contexto que se pode empregar o método não-paramétrico Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*), baseado em programação linear.

Como produto de uma dissertação em desenvolvimento, o presente artigo tem o objetivo identificar o estado da arte sobre a aplicação do DEA no setor portuário e identificar suas contribuições. Tal metodologia tem sido empregada mundialmente para mensuração de eficiência de sistemas portuários e os resultados auxiliam tomadas de decisão organizacionais.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada neste artigo é de cunho exploratório, uma vez que busca melhor entendimento de um determinado tema, envolvendo levantamento bibliográfico (GIL, 2008; PRODANOV; FREITAS, 2013).

Neste sentido, realizou-se uma revisão bibliográfica que teve início no Portal de Periódicos da CAPES. Nesta plataforma, utilizou-se a lógica booleana (“DEA” OR “*data envelopment analysis*”) AND (“*literature*” OR “*review*” OR “*definition*” OR “*concept*” OR “*bibliography*”) e obteve-se 119 trabalhos como resultado. Estes, por sua vez, foram refinados de acordo com sua relevância na academia, ou seja, quantidade de vezes citados, com o intuito de dissertar sobre o conceito da metodologia DEA e os modelos clássicos abordados na literatura.

As bases de dados mais expressivas são *Scopus*, *Web of Science*, *OneFile* e *Science Direct*. Para o desenvolvimento do estado da arte sobre DEA aplicado a portos, continuou-se a busca nas quatro bases selecionadas e foram acrescentados os eixos de pesquisa (“*port**”

OR "port logistics" OR "seaport" OR "portuary" OR "harbour") AND ("efficiency" OR "performance"). Para essa etapa, 55 trabalhos foram selecionados.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS – DEA)

Charnes et al. publicaram a primeira definição sobre o modelo DEA em 1978. Segundo a obra, a abordagem DEA pode ser conceituada como um método de avaliação de eficiência relativa baseada em programação linear, pelo qual são analisadas as entidades de um determinado sistema, denominadas unidades tomadoras de decisão, as DMU's (do inglês *Decision Making Units*), com base em dados de entrada (*inputs*) e de saída do sistema (*outputs*).

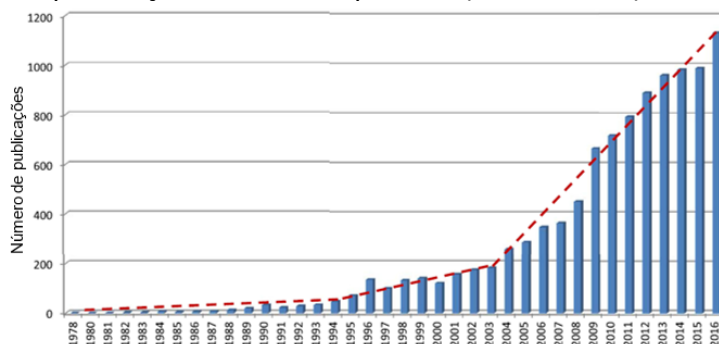
Charnes et al. (1978) propuseram um modelo de retorno constante de escala que mensurava apenas a eficiência técnica. Basicamente, as primeiras aplicações da metodologia mediram a eficiência relativa entre unidades de um mesmo setor, especificamente instituições públicas e educacionais (SEIFORD, 1996).

Um notável avanço na literatura surge com a combinação do modelo de retorno constante de escala com o modelo variável de escala, proposto por Banker et al. (1984). Uma separação em eficiência técnica e de escala é realizada sem alterar as condições compreendidas no modelo CCR. Assim, tem-se o modelo BCC (dos autores Banker, Charnes e Cooper).

Passados 40 anos da primeira publicação sobre DEA, Emrouznejad et al. (2018) refinaram o levantamento bibliográfico e catalogaram mais de 10.300 artigos publicados em periódicos sobre DEA no período de 1978 a 2016. Na Figura 1 pode-se ver que os autores identificaram três fases principais das publicações científicas sobre DEA:

- 1978 – 1994: Desenvolvimento gradativo;
- 1995 – 2003: Crescimento estável, com número médio de 134 publicações por ano;
- 2004 – 2016: Crescimento exponencial, com número médio de 680 publicações por ano, com mais de 1.100 publicações no último ano (2016).

Figura 1 – Número de publicações sobre DEA por ano (1978 – 2016)



Fonte: Adaptado de Emrouznejad et al (2018).

Como pode ser visto na Figura 1, o volume de publicações sobre DEA têm crescido consideravelmente. Tal metodologia DEA tem se mostrado uma ferramenta multidisciplinar para mensuração e avaliação de eficiência. Sua aplicação se deu nos mais variados âmbitos, contemplando desde estudos relativos à área da saúde até à engenharia.

3.2 MODELO MATEMÁTICO DEA

A fim de se obter a ótima eficiência para cada DMU analisada, respeitando a relação entre inputs e outputs, tem-se o modelo matemático proposto por Charnes et al. (1978):

$$\text{Max } E_k = \frac{\sum_{j=1}^m v_{jk} \text{OUTPUT}_{jk}}{\sum_{i=1}^l u_{ik} \text{INPUT}_{ik}} \quad \forall k = 1, \dots, n \quad (1)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^m v_{jk} \text{OUTPUT}_{jk}}{\sum_{i=1}^l u_{ik} \text{INPUT}_{ik}} \leq 1, \quad \forall k = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$u_{ik}, v_{jk} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (3)$$

O modelo de programação matemática acima representa a maximização da eficiência de n DMU's, tendo como variáveis de entrada l inputs e m outputs cada. Nesse sentido, INPUT_{ik} e OUTPUT_{jk} são, respectivamente, os inputs i e outputs j de cada DMU k , tendo u_{ik} como o peso do input i para cada DMU k e v_{jk} como o peso do output j para cada DMU k . Assim, o modelo estabelece os conjuntos u_{ik} e v_{jk} de pesos, com $i=1, \dots, l; j=1, \dots, m$ e $k=1, \dots, n$. A programação resultará na maior eficiência possível para cada DMU em análise, tendo 1 como valor máximo.

O modelo acima expressa uma programação fracionária (não linear). Como o método DEA baseia-se em programação linear, faz-se necessário a linearização do modelo. Nesse

sentido, o denominador da função objetivo deve retornar um valor igual a 1 e a diferença entre o numerador e o denominador deve ser menor ou igual a zero (CHARNES et al., 1978):

$$\text{Max } E_k = \sum_{j=1}^m v_{jk} \text{OUTPUT}_{jk} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^l u_{ik} \text{INPUT}_{ik} = 1 \quad \forall k = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m v_{jk} \text{OUTPUT}_{jk} - \sum_{i=1}^l u_{ik} \text{INPUT}_{ik} \leq 0 \quad \forall i, j \quad (6)$$

$$u_{ik}, v_{jk} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (7)$$

O método DEA permite a determinação da eficiência relativa para o conjunto de DMU's em estudo, com máxima produtividade e menor consumo possível dos *inputs*. Entende-se como eficiência relativa. Entende-se como eficiência relativa a eficiência de unidades produtivas em comparação a outras unidades produtivas que operam no mesmo nicho mercadológico e que utilizam os mesmos *inputs* e *outputs* (RIOS; MAÇADA, 2006).

Há exigência de que os pesos das variáveis de entrada sejam positivos e que possam ser utilizados para medir a eficiência relativa de qualquer DMU. Os resultados da programação retornam valores entre zero e um (COOPER et al., 2011).

As DMU's que apresentarem valor 1 como resultado de eficiência relativa serão identificadas como *benchmarks* no conjunto de DMU analisadas, ou seja, serão consideradas as unidades mais eficientes. As unidades que apresentarem valores inferiores a 1 serão consideradas ineficientes, indicando oportunidade de melhoria para atingir a fronteira de produção (RUIZ; SIRVENT, 2016).

3.3 DIFERENTES ABORDAGENS ANÁLISE

O método DEA possui dois modelos clássicos: o modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes), de 1978, e o modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper), de 1984.

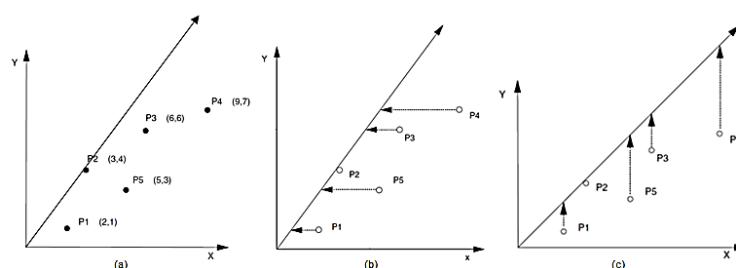
3.3.1 CCR

Também conhecido como modelo de retorno constante de escala ou CRS (*Constant Return of Scale*), segundo Seiford e Thrall (1990), a principal característica deste modelo é a combinação dos múltiplos *inputs* e *outputs* de cada DMU em um único *input* virtual (somatório dos *inputs* ponderados) e um único *output* virtual (somatório dos *outputs* ponderados) (SEIFORD; THRALL, 1990).

A partir disso, o modelo CCR determina eficiência através da máxima razão entre o *output* virtual e o *input* virtual, com a condição de que o resultado seja menor ou igual a um. A abordagem defende a proporcionalidade entre os *inputs* e *outputs*.

A Figura 2 (a) apresenta a relação entre *inputs* e *outputs*, com projeção da fronteira de eficiência e das eficiências de cada DMU P em estudo. Nesse exemplo, considera-se a DMU P2 como eficiente, já que se sobrepõe à fronteira de eficiência. As demais DMU's apresentaram-se ineficientes em relação à P2, sendo envelopadas pela fronteira de eficiência.

Figura 2 - Modelo CCR



Fonte: Adaptado de Cooper et al (2011).

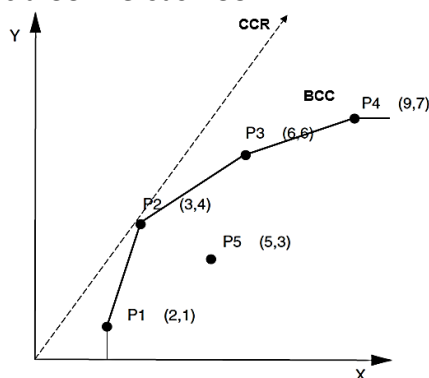
Na Figura 2 (b), há a representação do modelo CCR caso este seja orientado ao *input*; ou seja, a fim de alcançar eficiência de 100%, uma das alternativas é a redução de *inputs*. Já na Figura 2 (c) tem-se o modelo CCR orientado ao *output*. Nesse caso, busca-se o aumento de produtividade, mantendo-se invariável o *input*, para atingimento de máxima eficiência. Pode-se observar que a fronteira de eficiência se mantém com a mesma constância em ambos os modelos.

3.3.2 BCC

O modelo BCC foi proposto por Banker, Charnes e Cooper em 1984 e surgiu de forma a complementar o modelo CCR. Também conhecido como VRS (*Variable Returns to Scale*), o modelo defende variações nos retornos de escala, com resultados que podem ser constantes, crescentes ou decrescentes. Nesse sentido, uma modificação nos *inputs* não reflete necessariamente em um comportamento proporcional dos *outputs*.

Diferente do CCR, no modelo BCC, a fronteira de eficiência assume retorno variável de escala, sendo representada pela projeção de um cone convexo (Figura 3).

Figura 3 – Fronteira de eficiência CCR versus BCC



Fonte: Adaptado de Cooper et al. (2011).

Como ilustrado na Figura 3, no modelo BCC as DMU's P1, P2, P3 e P4 são consideradas eficientes por estarem na fronteira, porém não podem ser comparadas devido ao retorno variável de escala. A P5 é uma DMU ineficiente, estando esta envelopada. Assim como o modelo CCR, o modelo BCC também explora a orientação por *input* ou orientação por *output* para o tratamento de planos ineficientes. O diferencial do modelo BCC é a estratificação do conceito de eficiência em dois níveis: eficiência técnica e eficiência de escala.

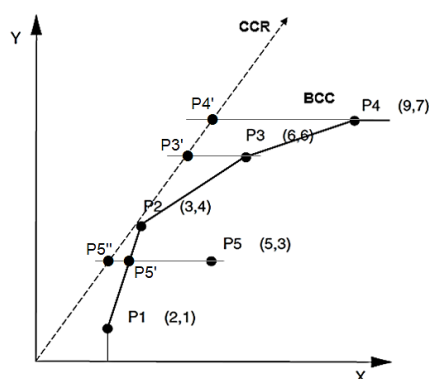
Após determinar eficiência técnica em ambos os modelos, Banker et al. (1984) inseriram no método BCC, o conceito de eficiência de escala (ESC) para uma DMU eficiente como sendo a razão entre os índices de eficiência técnica:

$$ESC = \frac{\text{Eficiência CCR}}{\text{Eficiência BCC}} \quad (8)$$

A variável ESC deve obter valor máximo de 1, o que indica a relação $\text{Eficiência CCR} \leq \text{Eficiência BCC}$. Logo, quando determinada DMU é eficiente no modelo CCR, esta apresenta máxima produtividade (ESC=1).

A Figura 4 demonstra as relações entre eficiência técnica e de escala com orientação por *input*.

Figura 4 – Eficiência de escala com orientação por input



Fonte: Adaptado de Cooper et al. (2011).

Exemplificado na Figura 4, a eficiência de escala das DMU's P2, P3 e P4 são iguais às suas respectivas eficiências técnicas CCR, uma vez que, no caso da DMU P2, $Eficiência\ CCR_{P2} = Eficiência\ BCC_{P2}$, e no caso das DMU's P3 e P4, $Eficiência\ CCR < Eficiência\ BCC$. Para a DMU P5, há um cenário ineficiente para ambos os modelos, o que indica ineficiência técnica e de escala.

4 DEA APLICADO A PORTOS

Como um método de utilização multidisciplinar, o DEA também foi utilizado para mensuração de eficiência no setor portuário. Apesar de ter demonstrado resultados significativos, tal aplicação se mostra como oportunidade de pesquisa, já que o volume de publicações na área ainda é relativamente baixo, conforme exposto anteriormente. A seguir, há o estado da arte sobre o método DEA no setor portuário, com as evidências do que tem sido estudo na área. Vale ressaltar que foram registrados artigos que contemplassem especificamente os modelos clássicos de DEA (CCR e/ou BCC). No total, foram documentadas 55 publicações acerca do tema (Apêndice A).

4.1 ESTADO DA ARTE

Dentre os trabalhos encontrados, tem-se que um dos primeiros autores a utilizarem DEA para medir desempenho portuária foram Roll e Hayuth (1993). Considerando vinte DMU's com dados hipotéticos, a pesquisa demonstrou a viabilidade do estudo de eficiência relativa a partir de informações operacionais ao passo que apresentou o método como uma ferramenta que possibilita visualizar melhorias no processo de atendimento portuário.

Assim como Roll e Hayuth (1993), Poitras et al. (1996) também utilizaram o modelo CCR para aplicar DEA no setor portuário. Os autores compararam vinte e três portos, australianos e outros internacionais. Diferente de Roll e Hayuth (1993), Poitras et al. (1996) consideraram mais *inputs* que *outputs*.

Análogo a Poitras et al. (1996), Tongzon (2001) estudou a eficiência portuária entre quatro portos australianos e doze portos internacionais de contêineres, porém usou como abordagem comparativa os modelos CCR e aditivo. Enquanto no modelo CCR dez portos atingiram eficiência de 100%, apenas três atingiram eficiência satisfatória no aditivo.

No mesmo ano, Valentine e Gray (2001) confrontaram a eficiência entre portos públicos e privados. Os autores objetivaram analisar a influência da estrutura de um sistema portuário em termos de produtividade. Os resultados demonstraram que dentre as estruturas organizacionais, a que apresentou melhor eficiência foi a simples, ao passo que a estrutura de propriedade não tem relação com resultados de desempenho.

No ano seguinte, Itoh (2002) estudou oito portos japoneses de contêineres. Com análise de janelas de tempo, o porto de Tóquio apresentou melhor resultado, tanto no modelo CCR como no modelo BCC. Dentre os resultados, os autores ressaltaram que o modelo BCC permite análises mais detalhadas.

De forma similar a Martinez-Budria et al. (1999), Serrano e Castellano (2003) analisaram a eficiência portuária de nove portos da Espanha entre os anos 1992 e 2000. O único porto que apresentou 100% de eficiência foi o porto de Alicante. Em segundo lugar, ficou o porto de Baleares, com desempenho equivalente a 92% e, em terceiro, o porto de Tenerife (73%). Os resultados mostraram que a eficiência média dos portos analisados esteve entre 65 a 70%.

No ano seguinte, foram desenvolvidas quatro aplicações de DEA no setor portuário: Barros e Athanassiou (2004), Culliname et al. (2004), Park e De (2004) e Turner et al. (2004).

Aplicando os dois modelos clássicos de DEA, Cullinane et al. (2004) analisaram vinte e cinco dos trinta maiores portos de contêineres do mundo entre os anos de 1992 a 1999. O resultado do modelo BCC contemplou mais portos eficientes que o modelo CCR. Enquanto

nesse, destacaram-se como portos eficientes os de Keelung, Nagoya, Colombo, Los Angeles e Kaohsiung, no BCC foram adicionados os portos de Tanjunk Priok, Nova York, Singapura e Hong Kong.

Com os objetivos de investigar tendências de crescimento da produtividade da infraestrutura portuária na América do Norte e de analisar fatores que contribuem para tal, Turner et al. (2004) mensuraram a eficiência portuária dos vinte e seis portos de contêineres do Canadá e dos Estados Unidos durante o período de 1984 a 1997. As DMU's foram estratificadas por região (Costa do Golfo, Costa Oeste e Costa Leste). Com o estudo, foi possível constatar que os portos da Costa do Golfo destacaram seu crescimento entre 1992 a 1997. Os portos do Costa Oeste apresentaram constância no crescimento de desempenho. Em relação aos portos da Costa Leste, os resultados indicaram queda de produtividade durante quase todo o período, com melhora apenas nos últimos quatro anos.

Em 2005, Cullinane et al. (2005), Lin e Tseng (2005), Min e Park (2005) e Song e Sin (2005) dissertaram sobre o método DEA como ferramenta de medida de eficiência portuária.

Cullinane et al. (2005) mediram a eficiência de cinquenta e sete DMU's, dentre elas terminais individuais e portos de contêineres ao redor do mundo. Além de aplicar o método DEA, os autores também utilizaram o método FDH (*Free Disposal Hull*). Os resultados delinearam o *ranking* de eficiência dos principais sistemas portuários de contêineres do mundo. Além disso, os autores constataram a importância da escolha das variáveis a serem utilizadas nos modelos.

Cullinane et al. (2006) compararam resultados obtidos da aplicação do método DEA, método não-paramétrico, e do método SFA (*Stochastic Frontier Analysis*), método paramétrico, para medir eficiência de cinquenta e sete dos principais terminais de contêineres do mundo. Com os mesmos *inputs* e *outputs* que Cullinane et al. (2005a), os modelos desenvolvidos apresentaram alta correlação, o que demonstrou um resultado confiável. Além disso, pôde-se constatar que a eficiência técnica está diretamente ligada à eficiência de escala, à maior participação do setor privado e ao transbordo.

Com abordagem BCC, Rios e Maçada (2006) mediram a eficiência relativa entre vinte e três terminais de contêineres do Mercosul. Entre esses quinze eram brasileiros, seis

Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.13, Edição Especial 2, 2020.

argentinos e dois uruguaios. Durante o período analisado, quatorze terminais atingiram eficiência de 100%, dois foram eficientes em pelo menos dois anos e dois terminais apresentaram eficiência em apenas um ano por questões operacionais. Como *benchmarking*, destacaram-se os terminais de Zarate (Argentina), Rio Cubatão (Brasil) e Teconvi (Brasil).

No que tange o Brasil, Sousa Junior et al. (2008) analisaram o desempenho portuário de dezesseis portos/ terminais do nordeste brasileiro com dados de 2006. Os autores desenvolveram dois estudos de caso, por tipo de carga. Em cada estudo, foram propostos vários cenários, com modificações nas variáveis utilizadas. Para os terminais de contêineres, foram explorados quatro cenários e, em todos eles, o porto de Salvador atingiu eficiência de 100%, enquanto, para graneis sólidos, o terminal de São Luís 1 destacou-se como eficiente.

No ano seguinte, Koster et al. (2009) aplicaram os dois clássicos modelos de DEA para avaliar eficiência portuária de trinta e oito terminais de contêineres ao redor do mundo. Os autores destacaram que a maioria dos estudos feitos na área tem como base de dados informações públicas e estas muitas vezes não são confiáveis. Os autores também comentam a comparação de portos de diferentes dimensões no mesmo estudo. Neste sentido, os autores compararam portos de importação/exportação com portos de transbordo e os resultados revelaram que quanto maior o terminal, maior sua eficiência. Além disso, os terminais de transbordo são significativamente mais eficientes que os terminais de importação/exportação.

Assim como Cullinane et al. (2006), Wanke et al. (2011) fizeram uso do método DEA e do método SFA para medir eficiência portuária. Os autores analisaram o ano de 2008 com uma amostra de vinte e cinco terminais portuários do Brasil. Como principais resultados, destaca-se que a capacidade dos portos nacionais é inferior às capacidades exigidas pelas demandas atendidas por limitações de infraestrutura operacional. Também, pôde-se observar que portos privados tendem a ser mais eficientes que portos públicos, da mesma forma que portos de graneis apresentam melhor desempenho que portos de contêineres.

Assim como Choi (2011), Li et al. (2015) avaliaram a eficiência portuária no nordeste asiático. Os resultados do estudo diagnosticaram eficiência satisfatória para os portos chineses, enquanto os portos da Coreia e do Japão se apresentaram relativamente ineficientes.

Em 2016, Wanke e Barros (2016) aplicaram o método DEA no setor portuário nacional; Cruz e Ferreira (2016) avaliaram a eficiência dos portos de Portugal e Espanha e, Zheng e Park (2016) analisaram a performance portuário nos principais portos asiáticos.

A pesquisa mais recente na academia é a de Kutin et al. (2017). O estudo indicou que a eficiência portuária dos países do bloco econômico ASEAN apresenta resultados satisfatórios, mas que ainda há oportunidades para ganhos em produtividade. Assim como em trabalhos anteriores, constatou-se a diferença de performance diretamente relacionada ao tipo de porto (interior ou marítimo).

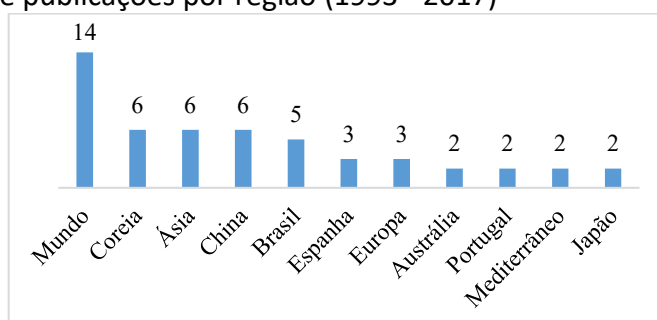
5 ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE

Após realizar o levantamento bibliográfico, foi possível analisar o estado da arte sobre aplicação dos modelos clássicos de DEA no setor portuário. Neste sentido, as análises estão organizadas em cinco tópicos: região de estudo, modelo utilizado, autores, ano de publicação e periódicos.

5.1 REGIÃO DE ESTUDO

De posse do Apêndice, foi possível identificar quais as regiões e/ou países que os autores utilizaram como base para seus estudos. A Figura 5 apresenta as principais regiões/países explorados na literatura.

Figura 5 – Número de publicações por região (1993 - 2017)



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

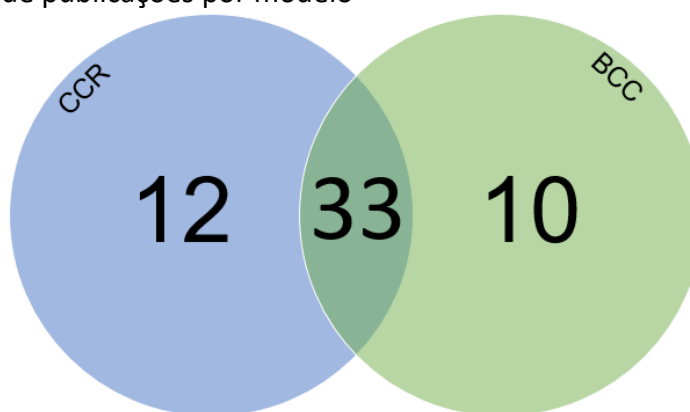
Como pode-se observar acima, aproximadamente 45,5% (14) das 55 publicações analisadas utilizaram DEA para avaliar desempenho portuário em âmbito global. Nesses casos, os autores coletaram informações dos principais portos/terminais internacionais como base de dados para suas análises. Coreia, Ásia e China foram avaliadas em 6 publicações cada. 5

publicações contemplaram a avaliação da eficiência portuária nacional. Portos espanhóis foram estudados em 3 publicações, assim também para a Europa. Austrália, Portugal, a região do Mediterrâneo e o Japão tiveram evidência em apenas 2 publicações cada. As demais regiões exploradas na literatura (América Latina, Grécia, Índia, Itália e México) foram observadas uma vez cada.

5.2 MODELOS

O presente estudo selecionou as publicações que utilizaram os modelos clássicos de DEA. A Figura 6 apresenta a distribuição das publicações por modelo.

Figura 6 – Número de publicações por modelo



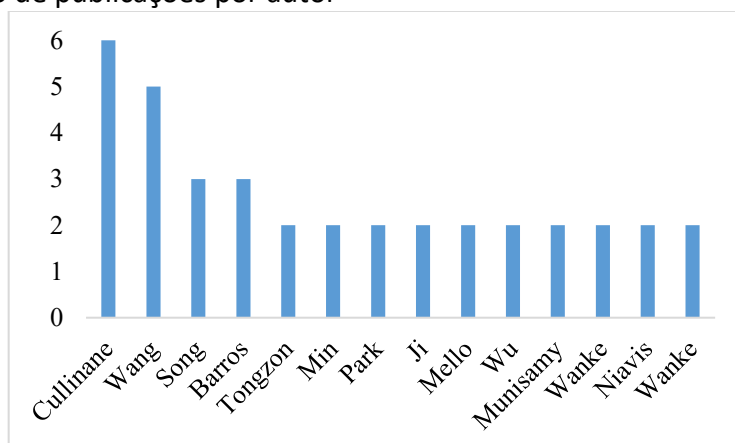
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

60% das publicações utilizaram ambos os modelos clássicos para medir eficiência portuária e, ao final de seus estudos, compararam os resultados obtidos. 12 dos 55 artigos fizeram uso do modelo CCR e 10 desenvolveram suas análises pautados no modelo BCC.

5.3 AUTORES

No total, foram contabilizados 113 autores que utilizaram DEA para mensurar eficiência portuária. A Figura 7 apresenta os principais autores que participaram do levantamento bibliográfico do presente estudo.

Figura 7 - Número de publicações por autor



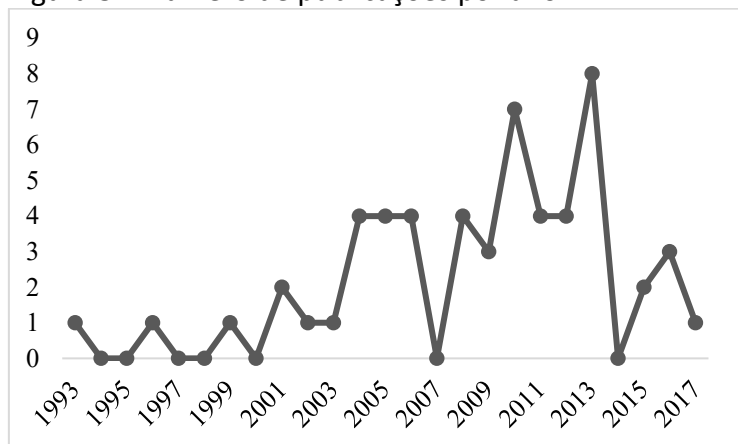
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

O principal autor na área de DEA portuária foi Cullinane, com participação em 6 artigos. Em seguida, tem-se Wang, o qual contribuiu em 5 publicações, sendo que as duas primeiras foram em 2006 em parceria com Cullinane e Song. Este, por sua vez, publicou 3 vezes, como também Barros. Os demais autores evidenciados na Figura 7 participaram de 2 publicações cada e o restante dos 113 autores não explicitados na Figura participaram em única publicação cada.

5.4 ANO DE PUBLICAÇÃO

Com base na tabela 2, pôde-se observar a frequência de publicações por ano (Figura 8).

Figura 8 – Número de publicações por ano



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Como visto, houve um crescente aumento desde 1993, ano da primeira publicação, até 2017. E foi nesse mesmo ano que se referenciou o maior número de aplicações acadêmicas Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.13, Edição Especial 2, 2020.

de DEA no setor portuário, com 8 publicações. Em 2014, não foi documentado nenhum artigo e de 2015 para 2016 houve um tímido aumento, de 2 para 3 artigos no ano. Por fim, em 2017 registrou-se uma publicação apenas que abordava utilização de ambos os modelos clássicos DEA no setor portuário.

5.5 PERIÓDICOS

Dentre as 55 publicações documentadas, foram identificados 36 periódicos. A Tabela 1 apresenta o número de trabalhos nos 10 periódicos que mais publicaram sobre o assunto.

Tabela 1 – Número de publicações por periódico

Periódico	Número de publicações
<i>Maritime Economics & Logistics</i>	7
<i>International Journal Shipping and Transport Logistics</i>	4
<i>Transportation Research Part A</i>	3
<i>The Asian Journal of Shipping and Logistics</i>	3
<i>Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research</i>	2
<i>Transportation Research Part E</i>	2
<i>International Journal Integrated Supply Management</i>	2
<i>Journal of Transport Literature</i>	2
<i>Transport Reviews</i>	2
<i>European Transport Research Review</i>	2
Demais periódicos	26

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

O periódico *Maritime Economics & Logistics* publicou 12,73% dos artigos presentes na Tabela 1. Em seguida, *International Journal Shipping and Transport Logistics* contribuiu com 7,27% das publicações sobre o presente tema. Tanto o *Transportation Research Part A* como o *The Asian Journal of Shipping and Logistics* divulgaram 5,45% dos trabalhos cada.

Os demais periódicos apresentados na Tabela 1 contabilizaram 3,63% dos artigos cada. O restante dos periódicos identificados no levantamento bibliográfico teve uma única publicação (1,81%) sobre DEA no setor portuário.

6 CONCLUSÕES

Inseridos em um contexto de competitividade mundial, os portos são peça chave para o sucesso internacional de um país. Assim, analisar a eficiência deste sistema significa identificar oportunidades de melhores práticas a fim de se tornar *benchmark* no setor.

Como produto de uma dissertação em processo de construção, este artigo teve o objetivo de elaborar uma análise do estado da arte sobre a aplicação da metodologia DEA no setor portuário e identificar suas contribuições. Através do levantamento bibliográfico, foi possível registrar 55 publicações acerca do tema, para o período analisado (1993 – 2017).

Através da metodologia DEA, os artigos identificaram os *benchmarks* e as unidades ineficientes nos cenários em estudo. Como resultado, os autores diagnosticaram oportunidades de melhores práticas para os portos ineficientes, tais como XX.

Dentre as publicações catalogadas, quatorze estudaram os principais portos mundiais e apenas cinco focaram suas análises em portos brasileiros, o que se caracteriza como uma lacuna de pesquisa ainda a ser explorada.

Além disso, constatou-se a aplicação do DEA majoritariamente em sistemas portuários de contêineres. Sendo assim, sugere-se para futuros trabalhos a exploração da ferramenta DEA para os demais tipos de carga, a fim de verificar se existe aplicabilidade para tal ou não.

REFERÊNCIAS

ABLANEDO-ROSAS, J. H.; RUIZ-TORRES, A. J. Benchmarking of Mexican ports with data envelopment analysis. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 1, n. 3, p. 276-294, 2009.

AL-ERAQI, A. S.; MUSTAFA, A.; KHADER, A. T. An extended DEA windows analysis: Middle East and East African seaports. **Journal of Economic Studies**, v. 37, n. 2, p. 208-218, 2010.

BAGDONAVICIUS, V.; KRUIOPIS, J.; NIKULIN, M. S. Nonparametric tests for complete data. **John Wiley & Sons**, 2013.

BANG, H. S.; KANG, D. J.; PARK, J. H. A Study on the Efficiency Analysis of Major Container Ports. **Korea Trade Review**, 2011.

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

BARROS, C. P. A benchmark analysis of Italian seaports using data envelopment analysis. **Maritime Economics & Logistics**, v. 8, n. 4, p. 347-365, 2006.

BARROS, C. P. The measurement of efficiency of Portuguese sea port authorities with DEA. **International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti**, p. 335-354, 2003.

BARROS, C. P.; ATHANASSIOU, M. Efficiency in European seaports with DEA: evidence from Greece and Portugal. **Maritime Economics & Logistics**, v. 6, n. 2, p. 122-140, 2004.

BICHOU, K. An empirical study of the impacts of operating and market conditions on container-port efficiency and benchmarking. **Research in Transportation Economics**, v. 42, n. 1, p. 28-37, 2013.

BOTTASSO, A.; CONTI, M.; PORTO, P. C. de S.; FERRARI, C.; TEI, A. Port infrastructures and trade: Empirical evidence from Brazil. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 107, p. 126-139, 2018.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHOI, Y. The efficiency of major ports under logistics risk in Northeast Asia. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, v. 28, n. 01, p. 111-123, 2011.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. Data envelopment analysis: History, models, and interpretations. **Handbook on data envelopment analysis**. Springer, Boston, MA, p. 1-39, 2011.

CRUZ, M. R. P. da; FERREIRA, J. J. de M. Evaluating Iberian seaport competitiveness using an alternative DEA approach. **European Transport Research Review**, v. 8, n. 1, p. 1, 2016.

CULLINANE, K.; JI, P.; WANG, T. The relationship between privatization and DEA estimates of efficiency in the container port industry. **Journal of Economics and Business**, v. 57, n. 5, p. 433-462, 2005a.

CULLINANE, K.; SONG, D.; JI, P.; WANG, T. An application of DEA windows analysis to container port production efficiency. **Review of Network Economics**, v. 3, n. 2, 2004.

CULLINANE, K.; SONG, D.; WANG, T. The application of mathematical programming approaches to estimating container port production efficiency. **Journal of Productivity Analysis**, v. 24, n. 1, p. 73-92, 2005.

CULLINANE, K.; WANG, T. Data envelopment analysis (DEA) and improving container port efficiency. **Research in Transportation Economics**, v. 17, p. 517-566, 2006.

CULLINANE, K.; WANG, T. The efficiency analysis of container port production using DEA panel data approaches. **OR spectrum**, v. 32, n. 3, p. 717-738, 2010.

CULLINANE, K.; WANG, T.; SONG, D.; JI, P. The technical efficiency of container ports: comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 40, n. 4, p. 354-374, 2006.

CULLINANE, K.; WANG, T. The efficiency of European container ports: A cross-sectional data envelopment analysis. **International Journal of Logistics: Research and Applications**, v. 9, n. 1, p. 19-31, 2006.

DEMIREL, B.; CULLINANE, K.; HARALAMBIDES, H. Container terminal efficiency and private sector participation. **Blackwell Companion to Maritime Economics**, p. 571-598, 2012.

DING, Z.; JO, G.; WANG, Y.; YEO, G. The relative efficiency of container terminals in small and medium-sized ports in China. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 31, n. 2, p. 231-251, 2015.

EMROUZNEJAD, A.; YANG, G. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 61, p. 4-8, 2018.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

FERREIRA, C. M. de C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Editora UFV, 2009.

FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. **The measurement of productive efficiency and productivity growth**. Oxford University Press, 2008.

HILSDORF, W. de C.; NETO, M. de S. N. Port of Santos: prospection on the causes of access difficulties. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 1, p. 219-231, 2016.

HUNG, S.; LU, W.; WANG, T. Benchmarking the operating efficiency of Asia container ports. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 3, p. 706-713, 2010.

INFANTE, Z.; GUTIÉRREZ, A. Port Efficiency in APEC. **México y la Cuenca del Pacífico**, n. 3, p. 41-74, 2013.

ITOH, H. Efficiency changes at major container ports in Japan: A window application of data envelopment analysis. **Review of Urban & Regional Development Studies**, v. 14, n. 2, p. 133-152, 2002.

JIANG, B.; LI, J. DEA-based performance measurement of seaports in northeast Asia: Radial and non-radial approach. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 25, n. 2, p. 219-236, 2009.

KAMBLE, S. S.; RAOOT, A. D.; KHANAPURI, V. B. Improving port efficiency: a comparative study of selected ports in India. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 2, n. 4, p. 444-470, 2010.

KIM, M. S.; HUANG, T. C. A Comparative Study on the Competitiveness of Major Shipping Ports in Korea and China after the Global Financial Crisis. **China and Sinology**, 2012.

KOSTER, M. B. M. de; BALK, B. M.; VAN NUS, W. T. I. On using DEA for benchmarking container terminals. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, n. 11, p. 1140-1155, 2009.

KUTIN, N.; NGUYEN, T. T.; VALLÉE, T. Relative efficiencies of ASEAN container ports based on data envelopment analysis. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 33, n. 2, p. 67-77, 2017.

LEE, J. W.; KI, K. H.; KIM, S. A Comparative Study of the Competitiveness among Korean, Chinese, and Japanese Major Ports. **Journal of International Area Studies**, 2008.

LI, K. S. D.; KWAK, K. C.; NAM, Y. M. A Comparative Analysis of Terminal Efficiency in Northeast Asia Container Ports. **Journal of Korean Navigation and Port Research**, 2015.

LIU, J. S.; LU, L. Y. Y.; LU, W. Research fronts in data envelopment analysis. **Omega**, v. 58, p. 33-45, 2016.

LIU, B.; LIU, W.; CHENG, C. The efficiency of container terminals in mainland China: An application of DEA approach. In: **Wireless Communications, Networking and Mobile Computing**, 2008. WiCOM'08. 4th International Conference on. IEEE, 2008. p. 1-10.

MARTINEZ-BUDRIA, E.; DÍAZ-ARMAS, R.; NAVARRO-IBAÑEZ, M.; RAVELO-MESA, T. A study of the efficiency of Spanish port authorities using data envelopment analysis. **International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti**, p. 237-253, 1999.

MERK, O.; DANG, T. Efficiency of world ports in container and bulk cargo (oil, coal, ores and grain). **OECD Regional Development Working Papers**, 2012.

MIN, H.; PARK, B. A hybrid Data Envelopment Analysis and simulation methodology for measuring capacity utilisation and throughput efficiency of container terminals. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 4, n. 6, p. 650-672, 2008.

MIN, H.; PARK, B. Evaluating the inter-temporal efficiency trends of international container terminals using data envelopment analysis. **International Journal of Integrated Supply Management**, v. 1, n. 3, p. 258-277, 2005.

MOKHTAR, K.; SHAH, M. Z. Efficiency of Operations in Container Terminals: A Frontier Method. **European Journal of Business and Management**, v. 5, n. 2, p. 91-106, 2013.

MUNISAMY, S.; SINGH, G. Benchmarking the efficiency of Asian container ports. **African Journal of Business Management**, v. 5, n. 4, p. 1397-1407, 2011.

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.

PARK, R.; DE, P. An alternative approach to efficiency measurement of seaports. **Maritime Economics & Logistics**, v. 6, n. 1, p. 53-69, 2004.

POITRAS, G.; TONGZON, J.; LI, H. Measuring port efficiency: an application of data envelopment analysis. **Department of Economics and Statistics**, National University of Singapore, 1996.

POLYZOS, S.; NIAVIS, S. Evaluating port efficiency in the Mediterranean. **International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies** 7, v. 5, n. 1, p. 84-100, 2013.

RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. G. Analysing the relative efficiency of container terminals of Mercosur using DEA. **Maritime Economics & Logistics**, v. 8, n. 4, p. 331-346, 2006.

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

RUIZ, J. L.; SIRVENT, I. Common benchmarking and ranking of units with DEA. **Omega**, v. 65, p. 1-9, 2016.

SCHØYEN, H.; ODECK, J. The technical efficiency of Norwegian container ports: A comparison to some Nordic and UK container ports using Data Envelopment Analysis (DEA). **Maritime Economics & Logistics**, v. 15, n. 2, p. 197-221, 2013.

SEIFORD, L. M. Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State Of the Art (1978–1995). **Journal of Productivity Analysis**, v. 7, n. 2-3, p. 99-137, 1996.

SIMÕES, P.; MARQUES, R. C. Influence of congestion efficiency on the European seaports performance: Does it matter?. **Transport Reviews**, v. 30, n. 4, p. 517-539, 2010.

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

TONGZON, J.; HENG, W. Port privatization, efficiency and competitiveness: Some empirical evidence from container ports (terminals). **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 39, n. 5, p. 405-424, 2005.

TURNER, H.; WINDLE, R.; DRESNER, M. North American containerport productivity: 1984–1997. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 40, n. 4, p. 339-356, 2004.

VALENTINE, V. F.; GRAY, R. The measurement of port efficiency using data envelopment analysis. In: **Proceedings of the 9th world conference on transport research**. South Korea: Seoul, 2001.

WANKE, P. F.; BARBASTEFANO, R. G.; HIJJAR, M. F. Determinants of efficiency at major Brazilian port terminals. **Transport Reviews**, v. 31, n. 5, p. 653-677, 2011.

WANKE, P. F.; BARROS, C. P. New evidence on the determinants of efficiency at Brazilian ports: a bootstrapped DEA analysis. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 8, n. 3, p. 250-272, 2016.

WANG, T.; CULLINANE, K. The efficiency of European container terminals and implications for supply chain management. **Maritime Economics & Logistics**, v. 8, n. 1, p. 82-99, 2006.

WANG, T. F.; SONG, D. W.; CULLINANE, K. **The applicability of DEA to efficiency measurement of container ports**. Disponível em: <http://www.eclac.cl>. Acesso em: 02 abr 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Competitiveness Report 2017-2018**. Disponível em: <<http://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%932018.pdf>>. Acesso em: 22 de jun. 2018.

WU, Y. J.; GOH, M. Container port efficiency in emerging and more advanced markets. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 46, n. 6, p. 1030-1042, 2010.

WU, J.; LIANG, L. Performances and benchmarks of container ports using data envelopment analysis. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 1, n. 3, p. 295-310, 2009.

WU, Y. J.; YAN, H.; LIU, J. DEA models for identifying sensitive performance measures in container port evaluation. **Maritime Economics & Logistics**, v. 12, n. 3, p. 215-236, 2010.

YUEN, A. C.; ZHANG, A.; CHEUNG, W. Foreign participation and competition: A way to improve the container port efficiency in China?. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 49, p. 220-231, 2013.

ZHENG, X. B.; PARK, N. K. A Study on the Efficiency of Container Terminals in Korea and China. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 32, n. 4, p. 213-220, 2016.

APÊNDICE A

Quadro 1 - Estado da Arte: DEA aplicado a portos

Autor	Modelo	Região de estudo	Portos / Terminais	Inputs	Outputs
Roll e Hayuth (1993)	CCR	Mundo	20 portos	(i) Número de funcionários (ii) Capital (iii) Uniformidade de carga	(i) Carga movimentada (TEU) (ii) Nível de serviço (iii) Satisfação do cliente (iv) Escala de navios
Postras et al. (1996)	CCR	Austrália e portos internacionais	23 portos	(i) Número de contêineres de 20 e 40 pés (ii) Atrasos médios no início da estiva (diferença entre o tempo de atracação e tempo de trabalho bruto) (iii) Produtividade do guindaste do cais (número de contêineres movimentados por hora de guindaste) (iv) Número de guindastes do cais (v) Frequência de chamadas de navios (vi) Taxas portuárias médias do governo por contêiner	(i) Carga movimentada (TEU) por berço (ii) Número total de contêineres movimentados por ano
Martinez-Budria et al. (1999)	BCC	Espanha	26 portos	(i) Depreciação (ii) Outras despesas (iii) Despesas trabalhistas	(i) Carga movimentada (TEU) (ii) Receita obtida com o aluguel de instalações portuárias
Tongzon (2001)	CCR e Additive	Austrália e portos internacionais	16 portos	(i) Número de guindastes (ii) Número de berços (iii) Número de rebocadores (iv) Área do terminal (v) Tempo de espera do navio (vi) Número de funcionários do porto	(i) Carga movimentada (TEU) (ii) Número de contêineres descartados por hora de trabalho
Valentine e Gray (2001)	CCR	Mundo	21 portos	(i) Comprimento total do berço (ii) Total de investimentos	(i) Carga movimentada (TEU) (ii) Toneladas movimentadas
Itoh (2002)	CCR e BCC	Japão	8 portos	(i) Área do terminal (ii) Número de berços (iii) Número de guindastes (iv) Número de funcionários	(i) Carga movimentada (TEU)

Autor	Modelo	Região de estudo	Portos / Terminais	Inputs	Outputs
Serrano e Castellano (2003)	BCC	Espanha	9 portos	(i) Tamanho do berço (ii) Área do terminal (iii) Número de guindastes	(i) Carga movimentada (TEU) (ii) Toneladas movimentadas
Park e De (2004)	CCR e BCC	Coreia	11 portos	Estágio 1 Produtividade: (i) Capacidade de atracação (ii) Capacidade de movimentação de carga e saída Estágio 2 Rentabilidade: (i) Movimentação de carga (ii) Escala de navios Estágio 3 Comercialização: (i) Receita Estágio 4 Eficiência geral: (i) Capacidade de atracação (ii) Capacidade de movimentação de carga	Estágio 1 Produtividade: (i) Carga movimentada (TEU) (ii) Escala de navios Estágio 2 Rentabilidade: (i) Receita Estágio 3 Comercialização: (i) Satisfação do cliente Estágio 4 Eficiência geral: (i) Satisfação do cliente
Culliname et al. (2004)	CCR e BCC	Mundo	25 terminais portuárias	(i) Tamanho do berço (ii) Área do terminal (iii) Número de guindastes (iv) Número de guindastes de pátio (v) Número de transportadores straddle carriers	(i) Carga movimentada (TEU)
Barros e Athanassiou (2004)	CCR e BCC	Grécia e Portugal	6 portos	(i) Capital (ii) Número de trabalhadores	(i) Carga movimentada (TEU) (ii) Movimentação de navios (iii) Contêineres manipulados (iv) Carga manipulada
Turner et al. (2004)	BCC	Estados Unidos e Canadá	26 terminais de contêiner	(i) Comprimento do berço (ii) Área do terminal (iii) Número de guindastes	(i) Carga movimentada (TEU)
Cullinane et al. (2005)	CCR e BCC	Mundo	57 terminais/portos	(i) Comprimento do terminal (ii) Área do terminal	(i) Carga movimentada (TEU)

Autor	Modelo	Região de estudo	Portos / Terminais	Inputs	Outputs
				(iii) Número de guindastes de cais (iv) Número de guindastes de pátio (v) Número de transportadores straddle carriers	
Lin e Tseng (2005)	CCR e BCC	Mundo	27 portos	(i) Número de portêineres (ii) Comprimento do cais (iii) Equipamento de estiva	(i) Carga movimentada (TEU)
Min e Park (2005)	CCR	Coreia do Sul	11 terminais de contêiner	(i) Número de guindastes (ii) Comprimento do cais (iii) Área de pátio (iv) Número de trabalhadores	(i) Carga movimentada (TEU)
Song e Sin (2005)	CCR	Mundo	53 portos	(i) Comprimento do berço (ii) Área total (iii) Pórtêineres, guindastes de cais, guindastes flutuantes, guindastes móveis (iv) Número de straddle carriers, empilhadeiras, reachstackers, top lifter (v) Área de estações de carga de contêiner (vi) Tempo médio de trabalho	(i) Carga movimentada (TEU)
Barros (2006)	CCR e BCC	Itália	24 portos	(i) Número de trabalhadores (ii) Capital (iii) Custos operacionais	(i) Granel líquido (ii) Granel seco (iii) Número de navios (iv) Número de passageiros (v) Número de contêineres com TEU (vi) Número de contêineres sem TEU (vii) Vendas totais
Cullinane et al. (2006)	CCR e BCC	Mundo	57 terminais de contêiner	(i) Comprimento do terminal (ii) Área do terminal (iii) Portêineres de berço (iv) Portêineres de pátio (v) Transportadores straddle carriers	(i) Carga movimentada (TEU)
Rios e Maçada (2006)	BCC	Brasil, Argentina e Uruguai	23 terminais de contêiner	(i) Número de guindastes (ii) Número de berços	(i) Carga movimentada (TEU)

Autor	Modelo	Região de estudo	Portos / Terminais	Inputs	Outputs
				(iii) Área do terminal (iv) Número de trabalhadores (v) Número de equipamentos de pátio	(ii) Número médio de contêineres movimentados por terminal por hora por navio
Wang e Cullinane (2006)	CCR e BCC	Europa	104 terminais de contêiner	(i) Comprimento do berço (ii) Área do terminal (iii) Custos de equipamento	(i) Carga movimentada (TEU)
Lee et al. (2008)	CCR e BCC	China, Coréia e Japão	16 portos	(i) Número de berços (ii) Comprimento do berço (iii) Profundidade da água (iv) Número de guindastes (v) Área do terminal	(i) Carga movimentada (TEU)
Liu et al. (2008)	BCC	China	45 terminais	(i) Comprimento do terminal (ii) Portêineres (iii) Portêineres pneumáticos	(i) Carga movimentada (TEU)
Min e Park (2008)	BCC	Coreia do Sul	11 terminais	(i) Comprimento total do terminal (ii) Número de guindastes (iii) Área de pátio (iv) Número de trabalhadores	(i) Carga movimentada (TEU) (ii) Capacidade do terminal
Sousa Junior et al. (2008)	CCR	Nordeste brasileiro	16 portos/terminais	Contêiner: (i) Calado (ii) Comprimento do berço (iii) Capacidade estática Granéis sólidos: (i) Comprimento do berço (ii) Calado (iii) Capacidade estática	Contêiner: (i) Navios (ii) Carga movimentada (TEU) (iii) Número de contêineres movimentados por hora Granéis sólidos: (i) Navios (ii) Carga movimentada (TEU) (iii) Toneladas movimentadas por hora
Ablanedo-Rosas e Ruiz-Torres (2009)	CCR	México	29 portos	(i) Comprimento do terminal comercial (ii) Comprimento do terminal turístico (iii) Número de trabalhadores (iv) Capacidade de armazenagem	(i) Número de passageiros de cruzeiros (ii) Número de navios de cruzeiro (iii) Número de navios de carga (iv) Número de contêiner TEUs

Autor	Modelo	Região de estudo	Portos / Terminais	Inputs	Outputs
					(v) Volume de frete movimentado
Koster et al. (2009)	CCR e BCC	Mundo	38 terminais de contêineres	(i) Número de guindastes (ii) Comprimento do berço (iii) Área de pátio	(i) Carga movimentada (TEU)
Wu e Liang (2009)	BCC	Mundo	77 portos	(i) Capacidade de máquinas para manuseio de carga (ii) Número de berços (iii) Área do terminal (iv) Capacidade de armazenagem	(i) Carga movimentada (TEU)
Al-Eraqi et al. (2010)	BCC	Oriente Médio e África	22 portos	(i) Comprimento do berço (ii) Equipamento (iii) Área do terminal	(i) Escala de navios (ii) Toneladas movimentadas
Cullinane e Wang (2010)	BCC	Mundo	25 portos	(i) Portêineres do berço (ii) Portêineres de pátio (iii) Transportadores straddle carriers	(i) Carga movimentada (TEU) (ii) Comprimento do terminal (iii) Área do terminal
Hung et al. (2010)	CCR	Ásia	31 portos	(i) Área do terminal (ii) Portêiner ship-shore (iii) Número de berços de contêiner (iv) Comprimento do terminal	(i) Carga movimentada (TEU)
Kamble et al. (2010)	BCC	Índia	12 portos	(i) Capacidade de armazenagem (ii) Número de berços (iii) Número de equipamentos de movimentação de carga	(i) Tempo médio total de retorno (dias) (ii) Saída média por dia de atracação do navio (toneladas)
Simões e Marques (2010)	CCR e BCC	Europa	41 portos	(i) Despesas operacionais (ii) Despesas de capital	(i) Carga geral convencional (ii) Carga conteineirizada (iii) Carga roll-on roll-off (RORO) (iv) Granel seco (v) Granel líquido (vi) Passageiros
Wu e Goh (2010)	CCR e BCC	Países emergentes e G7	21 portos	(i) Área do terminal (ii) Comprimento do cais (iii) Número de equipamentos	(i) Carga movimentada (TEU)
Wu et al. (2010)	CCR	Mundo	77 terminais de contêineres	(i) Capacidade de equipamento para manuseio de carga (ii) Número de berços	(i) Carga movimentada (TEU)

Autor	Modelo	Região de estudo	Portos / Terminais	Inputs	Outputs
				(iii) Área do terminal (iv) Capacidade de armazenagem	
Bang et al. (2011)	CCR e BCC	Mundo	76 portos	(i) Comprimento de berço (ii) Profundidade média da água (iii) Número de guindastes no cais (iv) Área do terminal	(i) Carga movimentada (TEU)
Choi (2011)	CCR e BCC	Nordeste asiático	13 portos	(i) Comprimento do terminal (ii) Área do terminal (iii) Número de guindastes	(i) Carga movimentada (TEU)
Munisamy e Singh (2011)	CCR e BCC	Ásia	69 portos	(i) Comprimento do berço (ii) Área do terminal (iii) Total de pontos reefers (iv) Número de guindastes de cais (v) Número de equipamentos de pátio	(i) Carga movimentada (TEU)
Wanke et al. (2011)	CCR e BCC	Brasil	25 terminais portuários	(i) Número de berços (ii) Área do terminal (iii) Número de vagas para caminhões	(i) Carga agregada movimentada (ii) Embarques carregados
Demirel et al. (2012)	CCR e BCC	Turquia e Mediterrâneo oriental	16 portos	(i) Comprimento do cais (ii) Área do terminal (iii) Número de guindastes no cais (iv) Equipamentos de pátio (v) Calado	(i) Carga movimentada (TEU)
Kim e Huang (2012)	CCR e BCC	China e Coreia	10 portos	(i) Número de berços (ii) Comprimento do berço (iii) Área do terminal (iv) Número de guindastes no cais	(i) Carga movimentada (TEU)
Niavis e Tsekeris (2012)	CCR e BCC	Europa (Sudeste)	30 portos	(i) Número de berços (ii) Comprimento do terminal (iii) Número de guindastes	(i) Carga movimentada (TEU)
Merk e Dang (2012)	CCR	Mundo	<ul style="list-style-type: none"> • 63 terminais de contêiner • 71 portos de óleo 	Terminais de contêiner: (i) Comprimento do cais (ii) Área do terminal (iii) Pontos reefers (iv) Número de guindastes de cais (v) Número de guindastes de pátio	Terminais de contêiner: (i) Carga movimentada (TEU) (ii) Carga movimentada (ton) Portos de óleo: (i) Carga movimentada (ton)

Autor	Modelo	Região de estudo	Portos / Terminais	Inputs	Outputs
			<ul style="list-style-type: none"> • 34 terminais graneleiros de carvão • 15 terminais/portos graneleiros de ferro • 41 Terminais/portos de grãos 	Portos de óleo: (i) Comprimento do cais (ii) Capacidade máxima de embarcação (iii) Calado máximo (iv) Capacidade de armazenagem (v) Taxa de descarregamento (vi) Capacidade de carregamento do oleoduto Terminais graneleiros de carvão: (i) Comprimento do cais (ii) Capacidade de armazenagem (iii) Capacidade de carga/descarga Terminais/portos graneleiros de ferro: (i) Comprimento do cais (ii) Profundidade máxima (iii) Capacidade carga/descarga (iv) Capacidade de armazenagem Terminais/portos de grãos: (i) Comprimento do cais (ii) Capacidade de armazenagem (iii) Capacidade de carregamento	Terminais graneleiros de carvão: (i) Carga movimentada (ton) Terminais/portos graneleiros de ferro: (i) Carga movimentada (ton) Terminais/portos de grãos: (i) Carga movimentada (ton)
Bichou (2013)	CCR e BCC	Mundo	60 terminais de contêineres	(i) Área do terminal (ii) Máximo calado (iii) Comprimento do terminal (iv) Taxa de carregamento por guindaste (v) Taxa de empilhamento de pátio (vi) Caminhões e veículos (vii) Número de terminais	(i) Carga movimentada (TEU)
Cortez et al. (2013)	CCR e BCC	Brasil	8 autoridades portuárias	(i) Número de funcionários (ii) Custos operacionais (iii) Investimentos	(i) Faturamento (ii) Carga movimentada (mil ton)

Autor	Modelo	Região de estudo	Portos / Terminais	Inputs	Outputs
Infante e Gutiérrez (2013)	CCR e BCC	APEC	33 portos	(i) Número de guindastes de cais (ii) Área do terminal (iii) Comprimento dos berços	(i) Carga movimentada (TEU)
Mokhtar e Shah (2013)	CCR e BCC	Malásia	6 terminais de contêineres	(i) Área do terminal (ii) Calado máximo (iii) Comprimento do berço (iv) Índice de guindastes do cais (v) Índice de empilhamento no pátio (vi) Veículos (V) (vii) Número de terminais	(i) Carga movimentada (TEU)
Munisamy e Jun (2013)	CCR e BCC	América Latina	30 portos	(i) Número de berços (ii) Área do terminal (iii) Equipamentos do cais (iv) Número de guindastes de pátio (v) Número de reachstackers, transportadores straddle carriers (vi) Número de empilhadeiras e tratores de pátio	(i) Carga movimentada (TEU)
Polyzos e Niavis (2013)	CCR	Mediterrâneo	30 portos	(i) Comprimento do porto (ii) Número de guindastes	(i) Carga movimentada (TEU)
Schoyen e Odeck (2013)	CCR e BCC	Noruega, países nórdicos e Reino Unido	24 portos	(i) Comprimento do berço (ii) Área do terminal (iii) Número de guindastes (iv) Número de transportadores straddle carriers	(i) Caminhões para manuseio de contêiner (ii) Carga movimentada (TEU)
Yuen et al. (2013)	CCR e BCC	China	21 terminais de contêineres	(i) Número de berços (ii) Comprimento total (iii) Área portuária (iv) Número de guindastes de cais (v) Número de portêineres no pátio	(i) Carga movimentada (TEU)
Ding et al. (2015)	CCR e BCC	China	21 terminais de contêineres	(i) Comprimento do terminal (ii) Número de equipamentos de manuseio (iii) Número de funcionários	(i) Carga movimentada (TEU)
Li et al. (2015)	CCR e BCC	Nordeste asiático	16 portos	(i) Número de berços (ii) Comprimento do berço	(i) Carga movimentada (TEU)

Autor	Modelo	Região de estudo	Portos / Terminais	Inputs	Outputs
				(iii) Profundidade (iv) Área do terminal (v) Número de guindastes no cais	
Wanke e Barros (2016)	CCR e BCC	Brasil	27 portos	(i) Comprimento do cais (ii) Profundidade máxima do cais (iii) Número de berços (iv) Área de armazenamento (v) Área do pátio (vi) Largura do canal (vii) Profundidade do canal	(i) Horas de carregamento de granéis sólidos (por ano) (ii) Horas de carregamento de contêineres (por ano), (iii) Granéis sólidos (toneladas / ano) (iv) Movimentação de contêineres (contêiner / ano) (v) Frequência de granéis sólidos (embarques / ano) (vi) Frequência de contêineres (embarques / ano)
Cruz e Ferreira (2016)	CCR e BCC	Portugal e Espanha	10 portos	(i) Número de funcionários (ii) Capital	(i) Carga movimentada (TEU) (ii) Lucro líquido (iii) Faturamento (iv) Navios movimentados (v) Participação de mercado
Zheng e Park (2016)	CCR e BCC	China e Coreia	9 portos	(i) Comprimento do berço (ii) Área de pátio (iii) Número de guindastes no cais (iv) Número de guindastes no pátio	(i) Carga movimentada (TEU)
Kutin et al. (2017)	CCR e BCC	Sudeste asiático	17 portos interiores 33 portos marítimos	Vide Anexo A	(i) Carga movimentada (TEU)

ANEXO A

Quadro 2 - Inputs usados para a análise DEA para cada categoria de terminal portuário do estudo de Kutin et al. (2017)

	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5	Categoria 6
Tamanho da amostra	37	29	25	22	16	12
Máxima profundidade de berço (m)	X	X	X	X	X	
Tamanho do pátio de contêiner (m ²)	X	X	X	X	X	
Comprimento do cais (m)	X	X	X	X	X	X
Número de guindastes de cais	X	X	X	X	X	
Número de portêineres pneumáticos		X		X		
Número de guindastes de pátio	X		X			X
Número de sistema de empilhamento	X	X	X	X		
Número de caminhões	X	X	X			

Fonte: Adaptado de Kutin et al (2017).