

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA OPERACIONAL E DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE PORTOS BRASILEIROS

ALEXSANDER JOSÉ DOS SANTOS

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" - UNESP

HENRIQUE EWBANK DE MIRANDA VIEIRA

SANDRA R M MASALSKIENE ROVEDA

SANDRO DONNINI MANCINI

JOSÉ ARNALDO FRUTUOSO ROVEDA

AValiação DE Eficiência Operacional E DE Desempenho Ambiental DE Portos Brasileiros

1. INTRODUÇÃO

O sistema portuário brasileiro movimentava por ano aproximadamente 700 milhões de toneladas de mercadorias de distintas naturezas e responde por uma parcela de mais de 90% das exportações (CORTEZ *et al.*, 2013). Nos últimos anos, o aumento da demanda por serviços portuários resultou em uma enorme pressão na infraestrutura dos portos brasileiros e enquanto alguns países realizaram investimentos em seus sistemas portuários, o Brasil conviveu com períodos sem investimentos (WANKE, 2013).

Destaca-se ainda que o desenvolvimento dos portos no país possuiu entraves relacionados aos custos de movimentação, à obsolescência dos equipamentos, baixa produtividade, falta de investimentos em infraestrutura, elevados custos logísticos, elevado tempo de espera para atracação, entre outros que impedem a competitividade no mercado internacional (PADUA e SERRA, 2006).

O crescimento da produção e comercialização de *commodities*, como a soja, a partir da década de 1990 (PAIVA *et al.*, 2019) acarretou num processo de modernização dos portos (WANKE, 2013), citando também a Lei de Modernização dos Portos (BRASIL, 1993) que também contribuiu com isso ao permitir que as cargas pudessem ser movimentadas por terminais privados e públicos (CORTEZ *et al.*, 2013).

Com base nos fatores elencados e o recente cenário de concessões de terminais portuários a iniciativa privada, torna-se cada vez mais importante a avaliação da eficiência operacional para identificação de falhas e de possíveis melhorias na operação, que poderão levar a uma maior competitividade dos portos brasileiros.

Na literatura, existem diferentes metodologias para avaliação de eficiência operacional portuária, como Análise Envoltória de Dados, *Free Disposal Hull* e Análise Estocástica da Fronteira (CULLINANE; SONG e WANG, 2005; CULLINANE e WANG, 2006).

Para este estudo, adotou-se a Análise Envoltória de Dados (em inglês *Data Envelopment Analysis-DEA*), que vem sendo utilizada para avaliar a eficiência portuária de portos da Austrália e outros internacionais (TONGZON, 2001), portos do Japão (ITOH, 2002) portos da Argentina e do Uruguai (RIOS e MAÇADA, 2006), portos europeus (CULLINANE e WANG, 2006) e portos brasileiros (PAIVA *et al.*, 2019; RIOS e MAÇADA, 2006; WANKE, 2013). A escolha dessa técnica foi fundamentada no fato de que é uma técnica amplamente utilizada e de fácil aplicabilidade para o propósito deste estudo.

Além da eficiência operacional dos portos, a questão ambiental também ganha importância, pois medidas ambientais estão sendo determinadas para portos marítimos (PAIVA *et al.*, 2019). Entre essas medidas é possível o citar Programa de Conformidade do Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos nos Portos Marítimos Brasileiros (PCRS) cujo propósito foi detectar questões ambientais e aperfeiçoar índices ambientais de 22 portos públicos brasileiros (PAIVA *et al.*, 2019) e o Índice de Desempenho Ambiental (IDA) criado pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2012).

Fatores como a recente privatização e construção de terminais portuários nacionais, a atualização dos Planos Mestres dos portos públicos brasileiros, a possibilidade de se estudar uma quantidade maior de portos, a aplicação de novas abordagens no assunto e contribuição com o assunto de diferentes maneiras (forma de análise, ferramentas utilizadas, etc.) e a inclusão da discussão da questão ambiental justificam a realização de estudos como este.

Diante do que foi apresentado, o presente estudo teve como objetivo analisar a eficiência operacional de instalações portuárias públicas e privadas que realizam a movimentação de

granéis sólidos (soja, trigo, etc.) e comparar os resultados de eficiência obtidos com o respectivo desempenho ambiental de cada porto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Análise Envoltória de Dados (DEA)

De acordo com Fontes (2006) a Análise Envoltória de Dados (DEA), técnica de programação linear, busca mensurar a eficiência de unidades organizacionais que fazem uso de distintos insumos (inputs) para obtenção de diferentes produtos (outputs).

Já para Mello *et al.* (2005), tem como finalidade a determinação da eficiência de unidades produtivas, denominadas DMUs (*Decision Making Units*), sendo que não se considera como fundamental o aspecto financeiro, otimizando cada observação individual e criando assim uma fronteira de eficiência, determinada pelas unidades que são Pareto eficientes.

Deve-se compreender que as DMUs necessariamente precisam ter a mesma utilização de entradas e saídas, com diferenças apenas na intensidade, realizando as mesmas tarefas, possuindo objetivos iguais, trabalhando nas mesmas condições de mercado e possuindo também autonomia na tomada de decisões (MELLO *et al.*, 2005). As DMUs deste estudo se referem as instalações portuárias que movimentam graneis sólidos, tendo operação acontecendo nas mesmas condições.

A aplicação do DEA no setor portuário segundo Fernandes (2010) mostra que os resultados gerados dão a possibilidade de fornecer referências Benchmark, que ajudam os operadores dos terminais portuários a visualizarem deficiências nas operações, com finalidade de melhorar a produção. O autor ainda cita que a utilização do modelo DEA, pode permitir a comparação entre portos privatizados e públicos, que possuam as mesmas funções de produção.

2.2 Modelo CRS

Existem diferentes métodos de DEA, optando-se para este estudo pelo método CRS (*constant return to scale*) e o método VRS (*variable return to scale*).

O modelo CRS foi apresentado primeiramente por Charnes; Cooper e Rhodes (1978), trabalhando com retornos constantes de escala, fundamentando-se que qualquer variação nas entradas gera variação proporcional nas saídas (MELLO *et al.*, 2005).

De acordo com Charnes; Cooper e Rhodes (1978), no modelo CRS realiza-se o cálculo de uma razão máxima de outputs ponderados sobre inputs ponderados, condicionados à premissa de que as razões de cada unidade sejam menores ou iguais à 1.

2.3 Modelo VRS

O modelo VRS compara as DMUs ineficientes apenas com as DMUs que geram um nível de outputs semelhante ao delas, garantindo que a DMU composta, para a projeção do ponto na fronteira de eficiência, seja alcançada por intermédio de uma combinação linear convexa das DMUs observadas (FERNANDES, 2010).

Esse modelo, diferente do modelo CRS apresenta retornos de escala variáveis, enfatizando que as pequenas unidades de negócio podem ser consideradas eficientes, quando não existe excesso de insumos na transformação dos produtos (COOPER; SEIFORD e ZHU, 2004). Geralmente, as unidades organizacionais mais eficientes são (ou tendem a ser) aquelas com maior escala de produção.

2.4 Índice de Desempenho Ambiental

O Índice de Desempenho Ambiental-IDA tem como finalidade mensurar a gestão ambiental das instalações portuárias, com base no atendimento às conformidades ambientais exigidas, fazendo uso de um índice numérico (ANTAQ, 2012).

A partir da utilização do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), método de análise multicritério, foram criados 38 indicadores com base na literatura técnica especializada, na legislação ambiental aplicável e nas boas práticas do setor portuário mundial, para construção do IDA (ANTAQ, 2018a). Acrescenta-se que são atribuídos pesos ou graus de importância para cada indicador, sendo enviados questionários para os administradores dos portos, com finalidade de obtenção dos resultados, com questões acerca de temas ambientais como governança ambiental, gerenciamento de energia, custos e benefícios das ações ambientais, educação ambiental, entre outros (ANTAQ, 2018a).

O IDA é um instrumento de acompanhamento e controle de gestão ambiental em instalações portuárias, possibilitando a quantificação e a simplificação de informações, com o propósito de facilitar o entendimento do público e dos tomadores de decisão acerca das questões ambientais portuárias; sendo medido de 0 a 100 (ANTAQ, 2018a). Esse índice possui ainda quatro categorias: econômico-operacional, sociocultural, físico-química e biológico-ecológica.

3. METODOLOGIA

3.1 Universo e amostra

O universo de pesquisa engloba os portos brasileiros que possuem movimentação de graneis sólidos (grãos como soja e trigo, fertilizantes, minérios, entre outros) em seus terminais, sejam estes públicos ou privados. Como existe um grande número de terminais portuários, buscou-se limitar a amostra de pesquisa, adequando-a para este estudo.

Inicialmente, a seleção dos portos foi baseada no Programa de Conformidade do Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos nos Portos Marítimos Brasileiros (SEP/PR e UFRJ, 2011), que incluía 22 portos públicos. Em função de ampliar a amostra, juntamente com a falta de dados em alguns casos e inclusão de terminais privados, selecionou-se 28 portos que estão divididos abaixo por região, como segue:

- ❖ Região Norte: Vila do Conde (PA), Barcarena (PA), Santarém (PA), Santana (PA), Ponta da Montanha (PA), Porto Velho (RO);
- ❖ Região Nordeste: Itaqui (MA), Natal (RN), Recife (PE), Maceió (AL), Aratu (BA), Cabedelo (PB), Ilhéus (BA), Suape (PE), Salvador (BA), Mucuripe (CE), Terminal de Uso Privado-TUP ALUMAR (MA), Areia Branca (RN), Ponta da Madeira (MA);
- ❖ Região Sudeste: Rio de Janeiro (RJ), Itaguaí (RJ), São Sebastião (SP), Santos (SP);
- ❖ Região Sul: Rio Grande (RS), Imbituba (SC), Paranaguá (PR), São Francisco do Sul (SC), Antonina (PR).

3.2 Coleta de Dados

A coleta de dados neste estudo envolveu, essencialmente, fontes secundárias como, por exemplo, teses, dissertações e livros que constituíram a base para revisão da análise estatística a ser aplicada, sendo que para os dados das variáveis de *input* e de *output* e do Índice de Desempenho Ambiental, utilizou-se as seguintes fontes:

- ❖ Plano Mestre de cada instalação portuária (BRASIL, 2018): Principal instrumento de planejamento dos portos brasileiros, traz informações sobre a infraestrutura disponível de cada

porto. Foi utilizado para obter informações das variáveis de *input* do modelo DEA, abrangendo o terceiro (2016-2019) e o segundo ciclo (2012-2015) de atualizações desse documento;

❖ Anuário Estatístico da ANTAQ (ANTAQ, 2018b): Traz informações acerca de diversos indicadores, como movimentação, atracções, tempos médios, existindo filtros por ano, portos, etc. Foi utilizado para a coleta de informações das variáveis de *output* do modelo DEA;

❖ Índice de Desempenho Ambiental (ANTAQ, 2018c): Apresenta dados sobre o ranking desse índice, análise dos indicadores, evolução dos atributos. Serviu de base para obter o desempenho ambiental de cada porto, em uma escala de 0 a 100.

3.3 Modelo DEA

De acordo com Golany e Roll (1989), existem três fases essenciais para seguir na implementação dos modelos DEA, sendo que estas serão descritas abaixo, com o intuito de descrever o que foi realizado neste estudo.

❖ Etapa I- Definição e escolha das DMUs: As DMUs selecionadas foram apresentadas na seção universo e amostra, ressaltando que estas se referem a portos que realizam a mesma tarefa ou operação (movimentação de graneis sólidos);

❖ Etapa II-Seleção das Variáveis de *Input* e *Output*: A seleção das variáveis foi realizada com base nos estudos de Itoh (2002), Paiva *et al.*(2019), Rios e Maçada (2006), Tongzon (2001). Buscou-se uma adaptação considerando para os inputs variáveis relacionadas a infraestrutura, e para os outputs relacionadas à produtividade.

Sendo assim, as variáveis escolhidas de *input* foram:

1. Berços: Importante para o número de navios que podem atracar no porto, medido em unidades;

2. Equipamentos: Contingente de máquinas e veículos utilizados na operação, também medido em unidades;

3. Capacidade: Refere-se à capacidade armazenagem de cada porto, incluindo silos, pátios e armazéns, sendo que quanto maior a quantidade de toneladas, maior será a capacidade de atendimento do porto. Medida por milhares de toneladas.

Já as variáveis de *output* são:

1. Movimentação de toneladas de granel sólido: Envolve a quantidade, em milhões, de graneis sólidos dos portos, sendo importante para medir a demanda de cada instalação portuária;

2. Prancha média: Mede a produtividade média de um porto em determinado período, sendo medida em relação ao tempo de operação dos navios (toneladas/hora) segundo ANTAQ, (2017).

❖ Etapa III: Escolha do Modelo DEA e de sua respectiva orientação. Os modelos escolhidos foram o CRS e o VRS, para observar diferenças entre os resultados de cada um.

Acrescenta-se á isso, que ambos os modelos podem trazer para cada DMU informações sobre até onde é possível melhorar o seu desempenho (CRS), ou em que razão ela pode melhorar o seu desempenho em comparação com seu homólogo eficiente mais semelhante, em uma fronteira variável (VRS) (FERNANDES, 2010).

A orientação dos modelos escolhida foi a de *input*, focando-se na infraestrutura portuária de cada empreendimento, principalmente na capacidade de armazenagem, visando analisar a ociosidade das variáveis escolhidas, e, conseqüentemente, reduzindo-a para conseguir maximizar a eficiência.

A Tabela 1 apresenta os valores de *input* e *output* para os portos estudados que foram utilizados para obter os resultados de eficiência operacional neste estudo.

Tabela 1: Valores de input e output dos modelos DEA CRS e VRS

Portos	Berços	Equipamentos	Capacidade (toneladas)	Movimentação (toneladas)	Prancha Média (t/h)
VLC	4	38	225000	96559088,00	541,00
BCR	3	4	150000	6495413,00	633,00
STR	5	25	61500	29965555,00	287,75
ITQ	3	5	650000	71498713,00	470,00
NAT	1	2	44600	1681008,00	138,63
REC	5	16	247000	9967463,00	125,38
MAC	4	17	212000	14081274,00	312,13
ARA	3	9	628100	14235973,00	131,00
RIO	2	7	109495	8853168,00	168,88
ITG	5	26	3780630	431318645,00	2821,00
SUA	2	11	45000	5047641,00	254,13
CAB	2	24	661000	6535751,00	203,75
SAS	1	45	44000	4365879,00	174,50
ILH	2	10	56000	2014113,00	155,50
PDM	1	36	30000	6174407,00	257,57
RGE	5	33	1881000	77344319,00	301,25
IMB	3	37	299000	19778568,00	271,25
PAR	10	266	1893000	230851644,00	449,13
SFS	5	28	291000	62451118,00	561,50
ANT	2	6	92969	8322587,00	128,50
SAN	23	247	2929600	381106659,00	634,13
PTV	2	23	40000	19424561,00	479,75
SAL	2	15	63800	3521151,00	94,50
MUC	4	7	335000	11352123,00	269,00
ALU	2	8	927000	97921795,00	1253,13
ARB	2	19	150000	25122688,00	334,75
PME	5	31	7363000	965933951,00	6532,38
STA	2	8	75600	9751044,00	300,00

Fonte: BRASIL (2018) e ANTAQ (2018b)

* VLC(Vila do Conde), BCR(Barcarena) , STR (Santarém), ITQ (Itaqui), NAT(Natal), REC(Recife), MAC(Maceió), ARA (Aratu), RIO (Rio de Janeiro),ITG (Itaguaí), SUA (Suape), CAB (Cabedelo), SAS (São Sebastião), ILH (Ilhéus), PDM (Ponta da Montanha), RGE (Rio Grande (RGE)), IMB (Imbituba), PAR (Paranaguá), SFS (São Francisco do Sul), ANT(Antonina), SAN (Santos), PTV (Porto velho), SAL (Salvador), MUC(Mucuripe), ALU (TUP ALUMAR), ARB (Areia Branca), PME (Ponta da madeira), STA (Santana).

3.4 Testes não paramétricos

Com o propósito de comparar a eficiência operacional (valores obtidos com os modelos DEA CRS e VRS) com o desempenho ambiental (IDA) dos portos estudados, a partir de comparações entre as distribuições das amostras dos respectivos índices, foram aplicados testes estatísticos, especificamente, três testes não-paramétricos. Os testes aplicados foram: Wilcoxon Rank Sum Test utilizado para 2 grupos de amostras (FOWLER e COHEN, 1990); Teste de Kruskal-Wallis utilizado para 3 ou mais grupos de amostras (ZAR, 1999); Teste de Nemenyi realizado após testes não paramétricos com três ou mais grupos (NEMENYI, 1963).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O software livre R (RCORETEAM, 2017) foi utilizado para obtenção dos resultados neste estudo, sendo que para o cálculo do DEA se fez uso do pacote Benchmarking, que traz a eficiência e as folgas para cada modelo, e para a realização do teste de Nemenyi utilizou-se o pacote PMCMR.

4.1 Resultados do Modelo DEA-CRS

Apresenta-se na Tabela 2 os resultados do Modelo DEA-CRS contendo as eficiências para cada porto estudado, além das folgas referentes aos inputs e outputs, pela ordem: Berços (input 1), equipamentos (input 2), capacidade (input 3), movimentação em toneladas (output 1), prancha média (output 2).

Tabela 2: Resultados do Modelo CRS (eficiência e folgas das variáveis)

Portos	Eficiência	Folga input 1	Folga input 2	Folga input 3	Folga output 1	Folga output 2
VLC	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BCR	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STR	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ITQ	0,80	1,86	0,00	0,00	0,00	8,05
NAT	0,69	0,04	0,00	0,00	113588,54	0,00
REC	0,20	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00
MAC	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARA	0,16	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
RIO	0,48	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
ITG	0,84	1,16	0,00	0,00	0,00	70,34
SUA	0,77	0,44	0,00	0,00	2567532,58	0,00
CAB	0,20	0,00	0,00	0,00	7834487,67	0,00
SAS	0,65	0,00	6,50	0,00	526970,60	0,00
ILH	0,44	0,18	0,00	0,00	2031903,15	0,00
PDM	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RGE	0,26	0,30	0,00	0,00	0,00	201,74
IMB	0,32	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00
PAR	0,58	0,00	100,43	0,00	0,00	965,71
SFS	0,80	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
ANT	0,49	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
SAN	0,51	0,00	16,41	0,00	0,00	1632,57
PTV	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAL	0,22	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
MUC	0,33	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
ALU	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARB	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PME	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STA	0,84	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autores do Trabalho

Pela Tabela 2 identifica-se que apenas 7 portos que podem ser considerados eficientes (com valor =1,00), não apresentando folgas em seus insumos e produtos. Esses portos são: Vila do Conde (PA), Santarém (PA) e Porto Velho (RO), que estão sob administração pública;

Barcarena (PA), Ponta da Madeira (MA), TUP ALUMAR (MA) e Ponta da Montanha (PA), que são concedidos à iniciativa privada.

Além de observar a predominância de portos da Região Norte como eficientes nesse modelo, 5 de 7 portos, pode-se afirmar que apenas 25% dos portos da amostra são eficientes, o que é preocupante, visto que grande parte dos portos são ineficientes e a mediana apresentou valor de 0,67, indicando que existem problemas de infraestrutura, relacionados a ociosidade de berços, entre outros aspectos que podem ser analisados a partir das folgas de cada variável.

A baixa mediana de eficiência dos portos, segue a premissa do modelo CRS com um padrão linear de retornos de escala constante, principalmente os portos com maior infraestrutura disponível, como Paranaguá (PR) e Santos (SP) que apresentaram valores de eficiência não satisfatórios, 0,58 e 0,51 respectivamente.

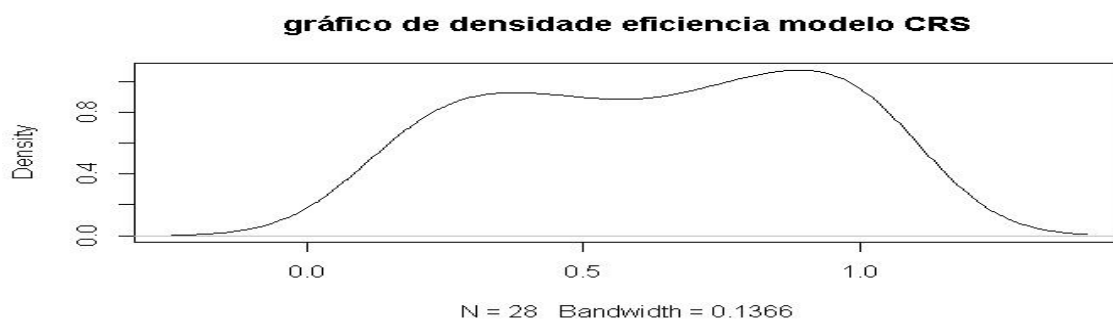
Os portos considerados eficientes apresentam infraestrutura semelhante (quantidade de berços, equipamentos e capacidade), mas as instalações portuárias sob administração da iniciativa privada apresentam maior demanda, baseando-se no somatório de movimentação dos portos, citando o exemplo de Ponta da Madeira (MA) que movimentou nos últimos 10 anos 965.933.951 de toneladas, existindo a possibilidade de maiores investimentos em infraestrutura para atendimento da demanda que só aumenta nos últimos anos, enquanto para os portos públicos com os baixos investimentos recentemente, as estruturas atuais tendem a ficar saturadas à medida que a demanda vem estabilizando, com reduções e aumentos proporcionais ao longo dos anos.

Analisando as folgas das variáveis, para os portos considerados eficientes não há oportunidades de melhorias nem técnicas (gerência) e nem de escala (demanda), enquanto que para os portos ineficientes, há instalações portuárias que possuem apenas oportunidades de melhorias técnicas (Recife, Aratu, etc.); existe um porto que possui apenas oportunidades de melhorias de escala (Cabedelo) e portos que possuem ambas oportunidades (Itaguaí, Santos, etc.)

Olhando para os portos com os menores valores de eficiência, que conseqüentemente merecem maior atenção, Recife possui ociosidade em seus berços, não há a utilização total, enquanto que os outros itens estão sendo todos aproveitados, indicando saturação desse porto, assim como Aratu se encontra na mesma situação. O caso de Cabedelo indica que a demanda é maior do que o porto possa suportar, visto que há uma folga considerável na movimentação de toneladas, podendo ser justificada também pela baixa produtividade, pois ao comparar com Barcarena, que foi considerado eficiente e possui movimentação e infraestrutura semelhantes, este último apresenta produtividade três vezes maior aproximadamente (633,00 t/h contra 203,75 t/h de Cabedelo).

Para melhor compreensão dos resultados desse modelo, é apresentado na Figura 1 o gráfico de densidade do modelo CRS. Pode-se enxergar a forma como os resultados estão distribuídos, sendo que os dados de eficiência dos portos no intervalo de 0,00 a 0,50 estão relativamente na mesma proporção que os que apresenta acima de 0,50, indicando a ineficiência de quase metade dos portos, com números abaixo de aceitável (0,50).

Figura 1: Gráfico de densidade modelo CRS



Fonte: Autores do trabalho

4.2 Resultados do Modelo DEA-VRS

Na Tabela 3 são apresentados os resultados do Modelo DEA-VRS contendo as eficiências para cada porto estudado e as folgas referentes aos inputs e outputs.

Tabela 3: Resultados do Modelo VRS (eficiência e folgas das variáveis)

Portos	Eficiência	Folga input 1	Folga input 2	Folga input 3	Folga output 1	Folga output 2
VLC	1	0	0	0	0	0
BCR	1	0	0	0	0	0
STR	1	0	0	0	0	0
ITQ	0,88	1,32	0	0	0	129,63
NAT	1	0	0	0	0	0
REC	0,28	0,21	0	0	0	52,5
MAC	0,44	0	0	0	0	0
ARA	0,35	0	0	81410,69	0	92,93
RIO	0,6	0,02	0	0	0	3,51
ITG	0,84	0,89	0	0	0	118,41
SUA	0,94	0,56	0	0	2561130	0
CAB	0,51	0	0	262258,3	976909,1	0
SAS	1	0	22,68	8123,71	0	35,2
ILH	0,75	0,51	0	0	398990,3	2,51
PDM	1	0	0	0	0	0
RGE	0,3	0	0	0	0	329,29
IMB	0,42	0	0	0	0	0
PAR	0,7	2,86	149,63	0	0	1017,36
SFS	0,8	0,72	0	0	0	0
ANT	0,69	0,19	0	0	0	41,05
SAN	0,87	15,78	180,24	0	0	1867,86
PTV	1	0	0	0	0	0
SAL	0,65	0,25	0	0	0	85,84
MUC	0,38	0,18	0	0	0	0
ALU	1	0	0	0	0	0
ARB	0,81	0	0	0	0	0
PME	1	0	0	0	0	0
STA	0,93	0,21	0	0	0	0

Fonte: Autores do trabalho

Identifica-se a partir dos resultados do modelo VRS, 9 portos que são considerados eficientes, além dos 7 já citados no modelo CRS, acrescenta-se os portos de Natal e de São Francisco do Sul, apresentando valores de eficiência maiores que o CRS com mediana de 0,83.

Ressalta-se que dos portos considerados eficientes, apenas o porto de São Francisco do Sul possui folgas nos insumos e produtos, o que o faz ser classificado como fracamente eficiente.

Analisando as folgas das variáveis desse modelo, existem três portos que possuem apenas oportunidades de melhorias técnicas (alocação de recursos): Mucuripe, Santana e São Francisco do Sul. Já em relação à apenas oportunidades de escalas nesse modelo, uma instalação portuária se encaixa nesse quesito (Rio Grande) e treze instalações que possuem oportunidades técnicas e de escala (Recife, Aratu, Itaguaí).

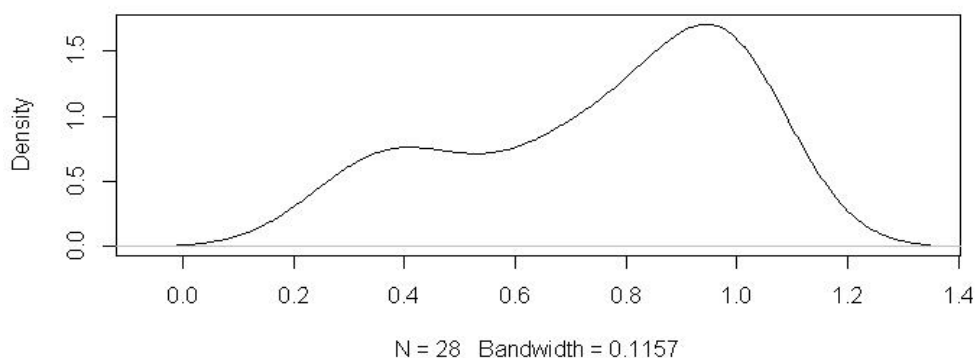
Observa-se que os portos com maior infraestrutura, como Paranaguá e Santos, que apresentaram valores menores no modelo CRS, aumentaram consideravelmente (Santos principalmente, passando de 0,51 para 0,87 de eficiência), indicando que esse modelo traz resultados melhores em relação ao valor da eficiência.

Os portos com menor eficiência no modelo CRS, Recife, Aratu e Cabedelo, aumentaram a sua eficiência no modelo VRS, mas apenas Cabedelo apresentou ganho considerável, passou de 0,20 para 0,51, enquanto os outros dois ainda ficaram abaixo de 0,50.

Apresenta-se na Figura 2, o gráfico de densidade do modelo VRS, sendo possível notar que os resultados de eficiência do modelo VRS estão em grande parte após 0,60, o que demonstra melhores resultados de eficiência, além do aumento do número de portos considerados eficientes em relação ao modelo CRS, de 7 para 9, e de portos com valores acima de 0,50.

Figura 2: Gráfico de densidade modelo VRS

gráfico de densidade eficiencia modelo VRS



Fonte: Autores do trabalho

4.3 Análise do Índice de Desempenho Ambiental (IDA) dos portos estudados

A Tabela 4 mostra os resultados do IDA dos portos brasileiros estudados relativos ao ano de 2017, destacando-se que foi adotado o valor zero para os portos privados em função destes não fazerem parte da avaliação realizada pela ANTAQ, que inclui apenas os portos públicos.

Tabela 4: Resultados do IDA para o ano de 2017

Porto	Valor do IDA	Varição em relação ao ano anterior (%)
VLC	62,42	26,74
BCR	0,00	0,00
STR	69,12	29,05
ITQ	89,87	7,22
NAT	45,79	-25,01
REC	63,74	8,35
MAC	51,27	39,32
ARA	40,81	-1,50
RIO	53,72	5,50
ITG	56,64	-7,45
SUA	88,06	-0,12
CAB	53,14	-12,70
SAS	93,88	-5,52
ILH	42,43	32,55
PDM	0,00	0,00
RGE	77,26	9,65
IMB	71,22	8,29
PAR	98,58	3,80
SFS	78,61	4,28
ANT	0,00	0,00
SAN	84,64	23,13
PTV	30,07	-8,82
SAL	48,41	8,23
MUC	0,00	0,00
ALU	0,00	0,00
ARB	0,00	0,00
PME	0,00	0,00
STA	26,87	-4,14
MEDIANA	50,09	0,00

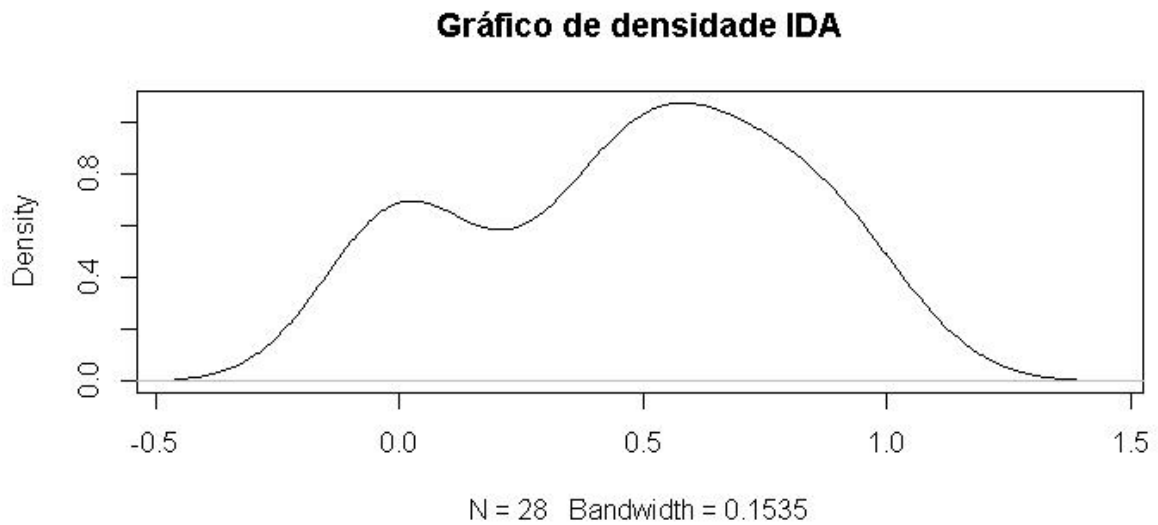
Fonte: ANTAQ (2018c)

Observa-se na Tabela 4 que apenas 5 portos públicos (Itaqui, Paranaguá, São Sebastião, Santos e Suape) possuem desempenho ambiental adequado, isto é, o IDA é maior que 80, o que indica a possibilidade de aperfeiçoamento dos outros portos no IDA. Outro ponto a ser enfatizado é que o porto de Paranaguá e o porto de São Sebastião obtiveram melhor desempenho ambiental (muito próximo a 100) e servem de referência para os outros portos em função de apresentarem maior adequação nos indicadores avaliados pela ANTAQ.

A evolução no IDA de 2017 para 2016 dos portos públicos, de maneira geral, demonstra que há um esforço tanto por parte dos administradores quanto da ANTAQ para o aperfeiçoamento da gestão ambiental nas instalações portuárias. Pode-se citar como aspectos positivos, por exemplo, que os portos de Paranaguá e de São Sebastião possuem uma agenda ambiental local e institucional e realizam ações para implementá-las, o que sugere uma preocupação maior com a questão ambiental, cada vez mais essencial em instalações de transporte.

A Figura 3 mostra o gráfico de densidade do IDA, que indica a distribuição dos valores deste último, ressaltando-se que os valores foram convertidos para a mesma escala dos resultados de eficiência, ou seja, para o intervalo de 0 a 1 ao dividir por 100. Nota-se que os dados do IDA estão distribuídos em proporção praticamente igual nos intervalos de 0,00 a 0,50 (13 portos) e 0,50 a 1,00 (15 portos). Ao não considerar os portos privados (6 portos) os dados se encontram distribuídos, em maior quantidade, no intervalo de 0,50 de 1,00, o que pode ser considerado como aceitável, mas há possibilidade de melhoria para que os portos alcancem resultados mais próximos do ideal (1,00).

Figura 3: Gráfico de densidade dos valores do IDA

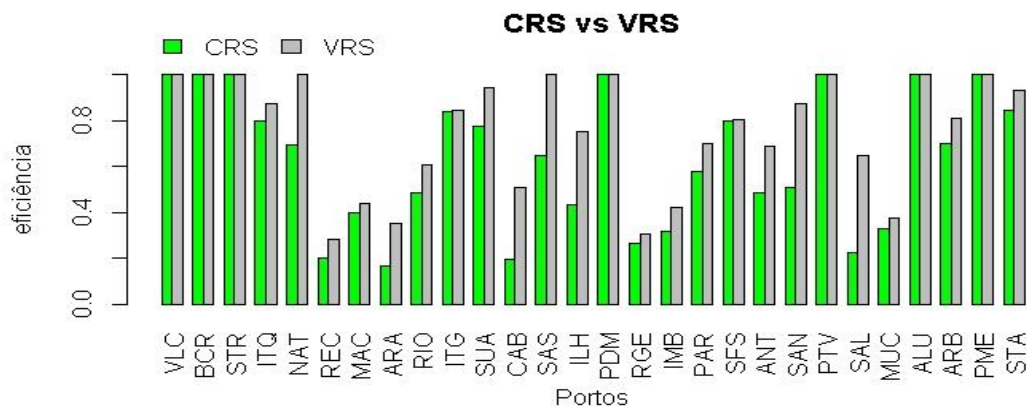


Fonte: Autores do trabalho

4.4 Comparação dos Resultados dos Índices de eficiência e de desempenho ambiental

A Figura 4 apresenta um gráfico que permitiu a comparação entre os resultados de eficiência operacional dos modelos CRS e VRS, para assim suscitar a discussão acerca destes índices estudados.

Figura 4: Comparação entre os resultados de eficiência do modelo CRS vs VRS



Fonte: Autores do trabalho

Observa-se que os portos que são eficientes no modelo CRS também o são no modelo VRS, totalizando 7 portos eficientes no primeiro modelo e 9 eficientes no segundo modelo, o que indica que grande parte da amostra estudada é ineficiente, ou seja, apresenta eficiência menor do que 1.

As instalações portuárias melhorarem seus índices de eficiência no modelo VRS em relação ao CRS, principalmente Recife, Aratu, Cabedelo, que apresentaram os menores valores no primeiro modelo; e os portos que são constituídos de infraestrutura maior como Paranaguá, Santos. Isso demonstra que o modelo VRS trouxe melhores resultados, a partir do gráfico apresentado e também da mediana de cada modelo, apesar de ter mais folgas nas variáveis que o modelo CRS.

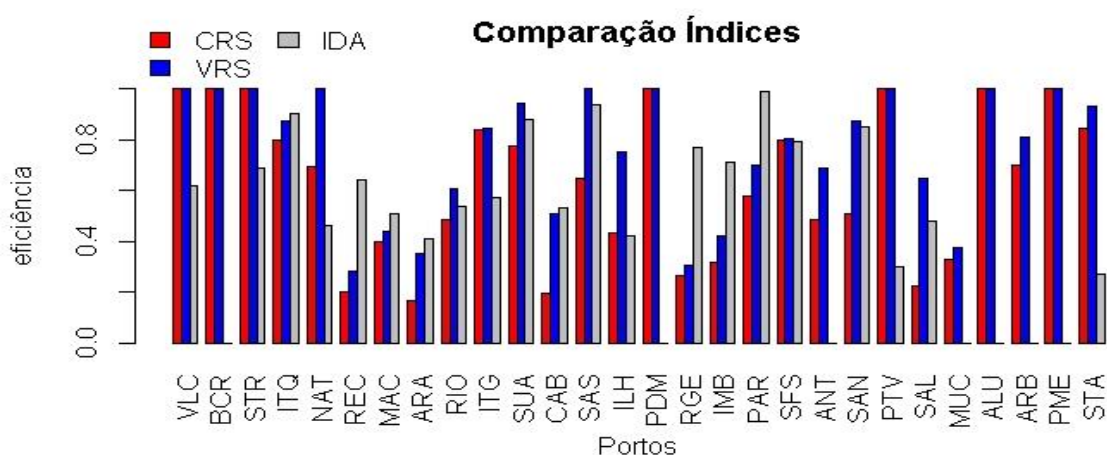
Mesmo com a melhoria de eficiência de alguns portos no modelo VRS, estes não atingiram patamares satisfatórios, como o caso de Recife, que avançou apenas 0,08 (0,20 para 0,28); de Itaqui que ainda apresenta ociosidade na utilização dos berços (1,32 não utilizado de 3); mesmo com o aumento dos índices de eficiência de algumas instalações portuárias, identificou-se folgas na prancha média, como Itaguaí, Rio Grande, Paranaguá e Santos, inferindo que possa existir problemas relacionados a produtividade dos portos, sendo um ponto a ser explorado pela administração dos portos.

A partir dos resultados dos modelos CRS e VRS, pode-se dizer que grande parte das instalações portuárias foram consideradas ineficientes, pois apresentam valores de eficiência menores que 1, chegando a 75% (21 de 28) no modelo CRS e 67,86% no VRS (19 de 28), gerando uma preocupação em relação a infraestrutura atual dos portos e como esta atende à demanda existente. Por outro lado, 7 portos foram considerados eficientes no modelo CRS, com nenhum porto apresentando folgas nas variáveis; e 9 portos no modelo VRS, sendo que apenas São Francisco do Sul apresentou folgas nas variáveis de input e output, sendo assim fracamente eficiente.

Identifica-se com base na análise das folgas, oportunidades de melhorias técnicas, relacionadas a ociosidade de berços (o caso de Itaqui nos dois modelos), não utilização de boa parte de equipamentos (Paranaguá no dois modelos), capacidade de armazenagem pouco utilizada (Cabedelo no modelo VRS); oportunidades de melhorias de escala referentes a movimentação de toneladas de granéis sólidos (Suape e Cabedelo para o modelo CRS) e também a prancha média (Santos e Paranaguá nos dois modelos estudados).

Em complemento a comparação entre os resultados do modelo DEA CRS e VRS a Figura 5 mostra os resultados de eficiência operacional e do IDA para cada porto.

Figura 5: Comparação entre os resultados de eficiência (CRS e VRS) e do IDA



Fonte: Autores do trabalho

Observa-se nos resultados da Figura 5 que três portos públicos (Vila do Conde, Santarém, Porto Velho) que possuem melhor eficiência operacional nos dois modelos DEA (1,00) não obtiveram bom desempenho ambiental. Por outro lado, portos como o de Paranaguá e São Sebastião que possuem desempenho ambiental adequado (próximo a 1,00) não obtiveram eficiência máxima, destacando-se que foi realizado apenas uma comparação entre os índices para compreender a situação de cada porto estudado e não se buscou estabelecer relação de causalidade entre os índices.

Em complemento a Figura 5, a Tabela 5 mostra os resultados dos três testes não paramétricos aplicados para verificar se há diferenças significativas entre os índices de eficiência (CRS e VRS) e o IDA.

Tabela 5: Resultados dos testes não paramétricos aplicados (p-valor)

ÍNDICES COMPARADOS	RESULTADO DO TESTE DE WILCOXON RANK SUM TEST (2 GRUPOS)	RESULTADO DO TESTE DE KRUSKAL WALLIS TEST (3 GRUPOS)	RESULTADO DO TESTE DE NEMENYI
CRS vs VRS	0.1152	-	0.2725
CRS vs IDA	0.08325	-	0.2006
VRS vs IDA	0.00131	-	0.0033
CRS vs VRS vs IDA	-	0.00484	-

Fonte: Autores do trabalho

Os resultados do Wilcoxon Rank Sum Test, para um nível de significância de 95%, indicaram que há diferença significativa apenas entre as medianas da distribuição do VRS e do IDA, aceitando a hipótese nula, apresentando p-valor abaixo de 0,05 (no caso 0.001312);

Já os resultados do teste de Kruskal Wallis, também para um nível de significância de 95%, com base no p-valor obtido mostraram que existe diferença significativa entre as medianas de CRS, VRS e IDA dos portos estudados.

Complementando o teste de Kruskal Wallis, aplicou-se o teste de Nemenyi para verificar quais índices apresentavam diferenças significativas entre as medianas, sendo que apenas para a comparação entre VRS e IDA foi encontrada diferença significativa com p-valor de 0.0033.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se neste estudo a análise da eficiência operacional de portos brasileiros que movimentam graneis sólidos, onde se fez uso da análise de envoltório de dados para obter os resultados para cada instalação portuária, considerando o modelo CRS e o modelo VRS. Além disso, aplicou-se três testes estatísticos não paramétricos para verificar se existiam diferenças significativas entre as três medidas estudadas (CRS, VRS, IDA), com base nas medianas obtidas.

Em suma, o modelo VRS retornou valores de eficiência melhores para a amostra utilizada em comparação com o CRS, tendo como referência o valor da mediana de ambos modelos, principalmente nos portos com maior infraestrutura, Paranaguá e Santos, e para os portos com baixa eficiência no primeiro modelo aplicado, Recife, Aratu e Cabedelo.

A partir da aplicação de três testes não-paramétricos conclui-se que há apenas diferenças significativas entre a distribuição das medianas das medidas do VRS e do IDA, conforme apresentado. Destaca-se que poucos portos possuem desempenho ambiental adequado (apenas

5), existindo assim a necessidade de aperfeiçoamento neste quesito dos portos estudados, ressaltando que de 2017 para 2016 houve um crescimento do IDA de maneira geral.

Foram encontradas ainda as seguintes limitações para o presente estudo: dificuldade de obtenção de dados sobre os portos; utilização de dados secundários; dados sobre o Índice de Desempenho Ambiental para portos privados não estão disponíveis; não divisão das áreas dos portos; dados dos inputs estão faltando (capacidade e equipamentos); grande parte dos Planos Mestres estão desatualizados; existem muitos “empates” nos resultados (dados com mesmo valor) prejudicando a obtenção do p-valor exato nos testes não paramétricos.

Sugere-se que em futuros estudos possam ser observados outros aspectos como a utilização de pesos nas variáveis, ajustes nos modelos, outras análises a serem feitas (análise de Supereficiência, etc.)

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Índice de Desempenho Ambiental - IDA para Instalações Portuárias**. Brasília, Brasil, 2012.

_____. **26º Encontro Anual do Sistema de Desempenho Portuário – SDP**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2016/12/Tema1_EstatisticoAquaviario.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

_____. **Índice de Desempenho Ambiental-IDA**. Brasília, 2018a. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/index.php/meio-ambiente/indice-de-desempenho-ambiental/>>. Acesso em: 22 set. 2020.

_____. **Anuário Estatístico Aquaviário**. Brasília, 2018b. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/anuario/>>. Acesso em: 20 jul.2020.

_____. **Índice de Desempenho Ambiental-IDA: Índice por instalação**. Brasília, 2018c. Disponível em: <[http://resultadosida.antaq.gov.br/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=Painel%2FANTAQ - Anuário 2014 - v0.9.3.qvw&host=QVS%40graneleiro&anonymous=true&sheet=Principal](http://resultadosida.antaq.gov.br/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=Painel%2FANTAQ-Anuário%202014-v0.9.3.qvw&host=QVS%40graneleiro&anonymous=true&sheet=Principal)>. Acesso em: 23 set. 2020.

BRASIL. **Lei Nº 8.630/1993 Dispõe sobre o regime jurídico da exploração dos portos organizados e das instalações portuárias e dá outras providências**. BRASIL, 1993.p. 1. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1993/lei-8630-25-fevereiro-1993-363250-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 20 set. 2020.

BRASIL. **Planos Mestres dos Portos Brasileiros**. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/planejamento-e-gestao/planos-mestres-portos>. Acesso em: 20 jul. 2020.

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.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. .; ZHU, J. **Handbook on data envelopment analysis-international series in operations research and management science**. Springer, 2004.

CORTEZ, Luiz Cláudio Sayão *et al.* Análise de eficiência na gestão de portos públicos brasileiros em relação ao papel das autoridades portuárias. **Journal of Transport Literature**, v. 7, n. 2, p. 78–96, 2013.

CULLINANE, Kevin P. B.; WANG, Teng-Fei. 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.

CULLINANE, Kevin; SONG, Dong-Wook; WANG, Tengfei. The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency. **Journal of Productivity Analysis**, v. 24, n. 1, p. 73–92, 2005.

FERNANDES, R. L. **Avaliação dos terminais que movimentam contêineres no Brasil através da análise envoltória de dados**. 2010. - Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

FONTES, O. H. P. M. Avaliação da eficiência portuária através de uma modelagem DEA. *In: X Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*. Anais do SPOLM, 2006.

FOWLER, J.; COHEN, L. **Practical statistics for field biology**. Open University Press, 1990.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **Omega**, v. 17, n. 3, p. 237–250, 1989.

ITOH, Hidekazu. 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.

MELLO, J. C. C. B. *et al.* Curso de Análise Envoltória de Dados. *In: XXVII - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. p. 1–28, 2005.

NEMENYI, P. B. **Distribution-free multiple comparisons**. 1963. - Princeton University, 1963.

PADUA, CLAUDIO DE ALENCAR; SERRA, EDUARDO GONÇALVES. Superação dos Gargalos Logísticos do Setor Portuário. **REVISTA DO BNDES**, v. 13, n. 26, p. 55–88, 2006.

PAIVA, Daniele Moraes Electo de *et al.* Assessing the environmental management and operational efficiency of Brazilian public ports that export soybeans. **Revista de Administração Pública**, v. 53, n. 2, p. 492–504, 2019.

RCORETEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 20 jul. 2020.

RIOS, Leonardo Ramos; MAÇADA, Antonio Carlos Gastaud. Analysing the Relative Efficiency of Container Terminals of Mercosur using DEA. **Maritime Economics & Logistics**, v. 8, n. 4, p. 331–346, 2006.

SEP/PR; UFRJ. **Implantação do programa de conformidade do gerenciamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos nos portos marítimos brasileiros**. Rio de Janeiro: 2011. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2016/12/Apresentação-do-Projeto-de-Diagnóstico-de-Resíduos-Sólidos-nos-Portos-Marco-Aurélio-Vasconcelos.pdf>> Acesso em: 15 jul. 2020.

TONGZON, Jose. 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.

WANKE, Peter 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.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 4. ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 1999.